

高速公路路堑高边坡工程
施工安全风险评估指南

中华人民共和国交通运输部

2014年12月

目 录

1 总则.....	1
2 术语与定义.....	2
3 总体风险评估.....	5
3.1 一般要求.....	5
3.2 专家调查评估法.....	6
3.3 指标体系法.....	8
4 专项风险评估.....	18
4.1 一般要求.....	18
4.2 风险辨识.....	20
4.3 风险分析.....	23
4.4 风险估测.....	24
4.5 重大风险源评估.....	27
5 风险控制.....	53
5.1 一般要求.....	53
5.2 风险控制措施.....	54
6 风险评估报告.....	56
6.1 一般要求.....	56
6.2 风险评估报告编制内容.....	56
6.3 风险评估报告评审.....	59
附录A 路堑高边坡评估单元工序分解表.....	61
附录B 评估单元（工程措施）与典型事故类型对照表.....	63
附录C 路堑高边坡施工安全风险控制措施建议.....	64

附录D 本指南用词说明.....	77
附件 《指南》条文说明.....	78
1 总则.....	78
3 总体风险评估.....	80
4 专项风险评估.....	92
5 风险控制.....	108

1 总则

1.0.1 为指导高速公路路堑高边坡工程(以下简称“路堑高边坡”)施工安全风险评估工作,有效控制施工安全风险,科学规避施工安全事故的发生,保障路堑高边坡的建设安全,编制本《指南》。

1.0.2 列入国家和地方基本建设计划的新建、改建、扩建的高速公路,在工程实施阶段应进行路堑高边坡施工安全风险评估。

1.0.3 施工安全风险评估分为总体风险评估和专项风险评估。总体风险评估应在施工图设计完成后、项目开工前完成。专项风险评估贯穿施工整个过程,可分为施工前专项风险评估和施工过程中专项风险评估。

1.0.4 施工安全风险评估应根据路堑高边坡的特点,选择定性定量相结合的评估方法。本《指南》推荐量化的评估方法为指标体系法,对指标的选择及其重要性排序,应结合工点具体情况合理确定。

1.0.5 路堑高边坡施工安全风险评估工作除遵守本《指南》外,还应符合国家和行业相关法律、法规、标准、规范等相关规定。

2 术语与定义

2.0.1 路堑高边坡 Cutting High-slope

为修建公路，由人工开挖形成的低于原地面的挖方高边坡，一般指高于20m的土质边坡、高于30m的岩质边坡。

2.0.2 事故 Accident

导致工程发生人员伤亡、经济损失、环境影响、工期延误或工程耐久性降低等不利后果的事件，也可称风险事故。本《指南》重点考虑引起人员伤亡和经济损失的事故。

2.0.3 风险 Risk

某一事故发生的可能性和潜在不利后果的组合。

2.0.4 安全 Safety

是指免除了不可接受风险的状态。

2.0.5 隐患 Hazard or Danger

可能导致事故发生的物的不安全状态、人的不安全行为及管理上的缺陷。

2.0.6 风险源 Risk Factors

也可称为致险因子，是指可能导致事故发生的直接因素，如：自然灾害、地质条件、技术方案、作业活动、施工设备、

危险物质、作业环境等。

2.0.7 一般风险源 General Risk Factors

指风险源相对简单，影响因素间关联性较低，运用一般知识与经验即可防范的风险源。

2.0.8 重大风险源 High Risk Factors

指风险源相对比较复杂，存在较大的不可预见性，引发的事故严重性较大，必须从地质条件、技术方案、作业环境及管理措施等多角度进行控制和防范的风险源。

2.0.9 风险辨识 Risk Identification

通过对工程施工过程进行系统分解，辨识各施工工序潜在风险事故的过程。

2.0.10 风险分析 Risk Analysis

采用系统安全工程理论对风险源可能导致的事故进行分析，找出可能受伤害人员、致险因子、事故原因等，确定物的不安全状态和人的不安全行为。

2.0.11 风险估测 Risk Estimation

采用定性或定量的方法，对事故发生的可能性及严重程度进行估算，并根据风险分级标准和接受准则，对工程风险进行等级排序。

2.0.12 施工安全风险评估 Risk Assessment in Construction Safety

针对工程施工过程潜在的风险进行辨识、分析、估测、提出控制措施的系列工作，包括总体风险评估和专项风险评估。

2.0.13 总体风险评估 General Risk Assessment

总体风险评估是以高速公路建设项目全线路堑高边坡工程为评估对象，根据工程建设规模、地质条件、工程特点、诱发因素、施工环境、资料完整性等，评估全线路堑高边坡施工安全风险，确定风险等级并提出控制措施。

2.0.14 专项风险评估 Specific Risk Assessment

专项风险评估是在总体风险评估基础上，对达到高度风险及以上的路堑高边坡为评估单元，以施工作业活动为评估对象，根据其安全风险特点，进行风险辨识、分析、估测；并针对其中的重大风险源进行量化评估，划分风险等级，提出风险控制措施。专项风险评估可分为施工前专项评估和施工过程中专项评估。

3 总体风险评估

3.1 一般要求

3.1.1 总体风险评估是以建设项目全线路堑高边坡工程为评估对象，根据工程建设规模、地质条件、工程特点、诱发因素、施工环境、资料完整性等，评估全线路堑高边坡施工安全风险，确定风险等级并提出控制措施建议。总体风险评估在开工前实施，评估结论可作为制定高边坡工程施工组织设计的依据。

3.1.2 总体风险评估对象包括：

- (1) 高于20m的土质边坡、高于30m的岩质边坡；
- (2) 老滑坡体、岩堆体、老错落体等不良地质体地段开挖形成的不足20m的边坡；
- (3) 膨胀土、高液限土、冻土、黄土等特殊岩土地段开挖形成的不足20m的边坡；
- (4) 城乡居民居住区、民用军用地下管线分布区、高压铁塔附近等施工场地周边环境复杂地段开挖形成的不足20m的边坡。

3.1.3 总体风险评估的依据主要有地质勘察报告、施工图设计文件、评估人员的现场调查资料及行业标准、规范等。

3.1.4 总体风险评估方法推荐采用专家调查评估法和指标体

系法。评估方法只考虑客观致险因子，不考虑主观因素（如人的素质、管理等）。

3.1.5 评估小组根据总体风险评估情况，提出专项风险评估对象，即需要重点评估的风险源。

3.2 专家调查评估法

3.2.1 专家调查评估法，是以专家作为索取信息的对象，依靠专家对路堑高边坡的知识和经验，在现场调查的基础上，根据建设规模、地质条件、工程特点、诱发因素、施工环境、资料完整性对高边坡作出评估和预测的一种方法。

3.2.2 采用专家调查评估时，应当成立评估专家组，专家组成员不得少于3人。专家应具备高级及以上技术职称，评估负责人具有10年以上、成员需具有5年以上工程管理经验，以及高边坡勘察、设计、施工工作经历。评估结论由专家署名并负责。

3.2.3 专家组每个成员，首先分别对建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性5个分项，按4个风险等级分别给出分项评定分值 R_i ，即：等级IV（极高风险）（4分）、等级III（高度风险）（3分）、等级II（中度风险）（2分）、等级I（低度风险）（1分）；其次，专家对分项评估分值给出专家信心指数 W_i 。专家信心指数可根据对评估对象的认识程度、类似工作经验、专业技术水平等给出。如认为自己的评估结果

可靠，信心指数高，给出 $W_i=1$ ；对评估分项完全没有概念，给出 $W_i=0$ ；在两种情况之间，可视具体情况给出 $W_i=0\sim 1$ （小数点后取1位）。最后，按表3-1公式计算出专家评估结果。

表 3-1 路堑高边坡专家调查评估法专家评估表

分项	分项评估内容	分值	信心指数	专家评估方法
1	建设规模	R_1	W_1	(1) 专家成员评定采用下列算式 $D_r = \sum (W_i \times R_i) / \sum W_i \quad (i=1\sim 5)$ 式中： R_i 分项评定等级（1~4）； W_i 各专家评定信心指数； D_r 路堑高边坡专家评分，评分高表示安全风险等级高。 (2) 专家成员风险等级评定分类采用下列界限 $D_r \geq 3.5$ 等级IV（极高风险）； $3.5 > D_r \geq 2.5$ 等级III（高度风险）； $2.5 > D_r \geq 1.5$ 等级II（中度风险）； $D_r < 1.5$ 等级I（低度风险）。
2	地质条件	R_2	W_2	
3	诱发因素	R_3	W_3	
4	施工环境	R_4	W_4	
5	资料完整性	R_5	W_5	

3.2.4 专家组评估结果，是在各专家成员评定等级的基础上取平均值，即将各专家成员评定的 D_r 累加再除以专家总数得出平均的 D_r ，并按下列界限划分路堑高边坡施工安全风险等级：

- $D_r \geq 3.5$ 等级IV（极高风险）；
- $3.5 > D_r \geq 2.5$ 等级III（高度风险）；
- $2.5 > D_r \geq 1.5$ 等级II（中度风险）；
- $D_r < 1.5$ 等级I（低度风险）。

3.2.5 专家调查评估法总体风险评估流程见图3-1。

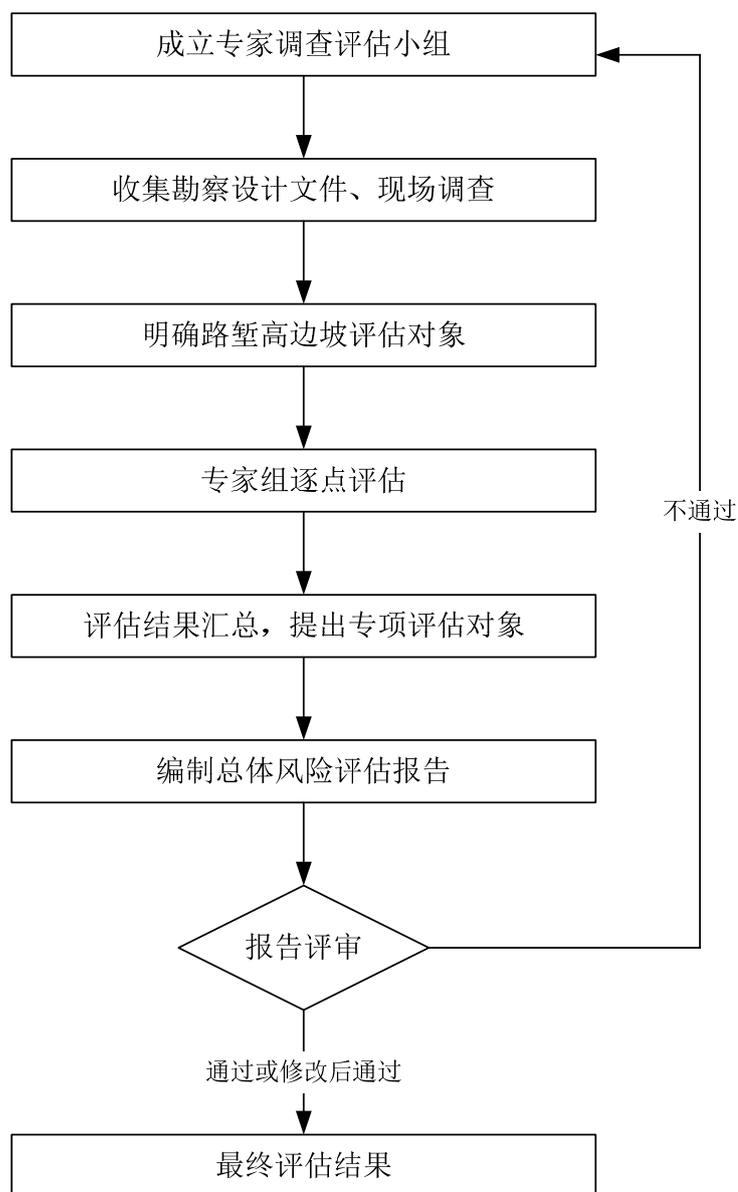


图 3-1 专家调查评估法总体风险评估流程图

3.3 指标体系法

3.3.1 指标体系法，根据建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性将指标分为五个主要反映路堑高边坡风险的大类。在指标分类的基础上，提出评估指标。

3.3.2 将各评估指标按重要性从高到低顺序进行排序，可采用权重系数对各评估指标重要性进行区分。权重系数应综合运用多种方法进行确定，本指南推荐“按评估指标重要性排序确定权重取值”的方法，计算公式如式（3-1）所示。

$$\gamma = \frac{2n - 2m + 1}{n^2} \quad (3-1)$$

式中， γ —权重系数；

n —评估指标（重要指标）项数；

m —重要性排序号， $m \leq n$ 。

3.3.3 指标体系法总体风险评估的工作流程见图3-2。

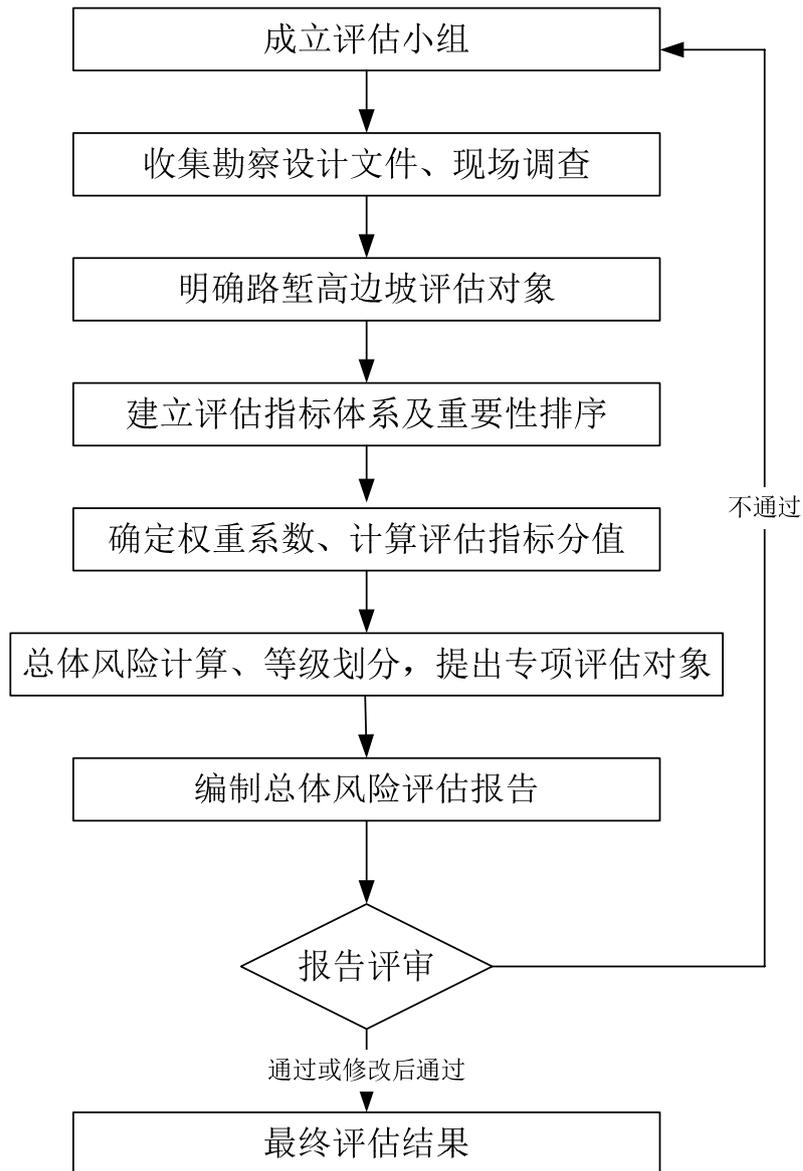


图 3-2 指标体系法总体风险评估流程图

3.3.4 路堑高边坡施工安全总体风险评估的指标体系划分为5类：建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性，根据各指标的具体情况建立评估指标体系，可参见表3-2。在对具体路堑高边坡进行评估时，表3-2所列11个指标不一定全部参与评估，需选出比较重要的指标进行排序。

表3-2 路堑高边坡施工安全总体风险评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说 明
			分值范围	取值			
建设规模 X_1	边坡高度 X_{11}	土质边坡 $H \geq 40m$, 岩质边坡 $H \geq 60m$	75~100	R_{11}	γ_{11}	$X_{11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	<p>(1) 土质边坡 $H \geq 60m$、岩质边坡 $H \geq 80m$ 时, 基本分值确定为 100, 其他分值可按高度线性内插计算取值。</p> <p>(2) 在每一档分值给定时, 当单级坡 (两碎落台间距) 土质边坡 $h \geq 12m$、岩质边坡 $h \geq 15m$ 时取大值; 当单级土质边坡 $h \leq 6m$、岩质边坡 $h \leq 8m$ 时取小值; 当单级土质边坡高度 $h = 8m$、岩质边坡 $h = 10m$ 时, 取中间值。其他情况按分级高度线性内插。</p> <p>(3) 当用上述两种标准给定分值不一时, 采用大值。</p>
		土 质 边 坡 $30m \leq H < 40m$, 岩质 边坡 $40m \leq H < 60m$	50~74				
		土 质 边 坡 $20m \leq H < 30m$, 岩质 边坡 $30m \leq H < 40m$	25~49				
		土质边坡 $H < 20m$, 岩质边坡 $H < 30m$	0~24				
	路堑边坡超过所在 自然斜坡比拟坡度 值 $\Delta \alpha \geq 15^\circ$	75~100	R_{12}	γ_{12}	$X_{12} = R_{12} \times \gamma_{12}$		
$10^\circ \leq \Delta \alpha < 15^\circ$	50~74						
$5^\circ \leq \Delta \alpha < 10^\circ$	25~49						
$\Delta \alpha < 5^\circ$	0~24						

分类	评估指标	分 级		基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说 明
				分值范围	取值			
地质条件 X_2	地层岩性 X_{21}	易滑及软弱地层		75~100	R_{21}	γ_{21}	$X_{21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	易滑及软弱地层，是指煤系地层岩组、泥质岩岩组（泥质粉砂岩、砂质泥岩、泥岩、泥灰岩、页岩等）、残积层、第四系重力堆积层；基岩，是指除去“易滑及软弱地层”的基岩；地层分布复杂者取大值；反之，取小值。
		全风化层基岩		50~74				
		强风化层基岩		25~49				
		弱风化层基岩		0~24				
	坡体结构 X_{22}	坡体中存在顺坡向缓倾的软弱结构面或组合体	贯通	75~100	R_{22}	γ_{22}	$X_{22} = R_{22} \times \gamma_{22}$	根据结构面贯通性和发育程度取值。缓倾的软弱结构面是指结构面的倾角小于路堑边坡坡角。结构面及其组合面的倾向与边坡倾向之间的夹角 $\beta = 0^\circ$ 取大值， $\beta = 45^\circ$ 取中间， $\beta = 60^\circ$ 取小值，其它的值建议用线性内插法确定。
			不贯通	50~74				
		坡体中存在顺坡向缓倾的硬性结构面或组合体	贯通	25~49				
			不贯通					
		坡体中存在其他方向结构面，且贯通和发育						
		坡体中其他方向的结构面，不贯通，不发育		0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说 明		
			分值范围	取值					
地下水	X_{23}	边坡下部 0.25H 范围内有地下水出露, 且无排水措施	75~100	R_{23}	γ_{23}	$X_{23} = R_{23} \times \gamma_{23}$	根据地下水的分布范围和地下水的类型及边坡体的储水构造确定。 基岩承压水取大值, 基岩裂隙和土层孔隙潜水取小值。		
		边坡中下部 (0.25~0.5) H 范围内有地下水, 且无排水措施	50~74						
		边坡中上部 (0.5~0.75) H 范围内有地下水, 且无排水措施	25~49						
		边坡上部 (0.75~1.0) H 范围内有地下水, 且无排水措施	0~24						
诱发因素	X_3	施工季节	X_{31}	雨季施工, 施工周期内出现暴雨; 或施工地区过去 5 年内年均降雨超过 800mm	75~100	R_{31}	γ_{31}	$X_{31} = R_{31} \times \gamma_{31}$	根据边坡所在区域的降雨等级进行确定。如没有过去 5 年内年均降雨量资料, 可用当地的年降雨量数据代替 5 年内年均降雨超过 1000mm, 分值为 100, 其他分值可按实际值线性内插取值。
				雨季施工, 施工周期内出现大雨; 或施工地区过去 5 年内年均降雨 600~800mm	50~74				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说 明
			分值范围	取值			
		雨季施工, 施工周期内出现中雨; 或施工地区过去5年内年均降雨300~600mm	25~49				
		旱季施工; 施工周期内出现小雨或不降雨; 或施工地区过去5年内年均降雨不超过300mm	0~24				
	自然灾害的影响 X_{32}	自然灾害频发	75~100	R_{32}	γ_{32}	$X_{32} = R_{32} \times \gamma_{32}$	自然灾害指施工区域暴雨、洪水、泥石流、崩塌、滑坡等, 自然灾害多发季节施工取大值。
		自然灾害多发	50~74				
自然灾害偶发	25~49						
自然灾害很少	0~24						
施工环境 X_4	工程措施类型 X_{41}	抗滑桩	75~100	R_{41}	γ_{41}	$X_{41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	本指标只考虑边坡处治采用单一的工程措施。一个边坡采用多种工程措施时, 取施工难度较大的工程措施对应的分值, 并酌情提高取值。
		锚固工程	50~74				
		注浆类工程	25~49				
		挡土墙工程	0~24				
	周边环境 X_{42}	在坡顶开挖线以外0.5H、路基下方1.0H范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、水体设施	75~100	R_{42}	γ_{42}	$X_{42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	上边坡为土质、岩层产状顺层的边坡取大值; 岩质边坡岩层产状反倾的边坡取小值。 下边坡位于沟谷地带、地

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说 明
			分值范围	取值			
		在坡顶开挖线以外 1.0H、路基下方 1.5H 范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、 水体设施	50~74				形较陡的、有河流水体的取大值；反之，取小值。 如果上下自然边坡高陡，虽离路堑边坡水平距离较大，但也受到影响的，应酌情提高指标取值。
		在坡顶开挖线以外 1.5H、路基下方 2.0H 范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、 水体等设施	25~49				
		设施位于上述范围以外	0~24				
资料完整性 X_5	地质资料 X_{51}	每个高边坡工点有一个或没有勘察断面，每个断面仅有1个或没有勘探点（钻探、挖探、物探）	75~100	R_{51}	γ_{51}	$X_{51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	对地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件调查分析清楚，岩土计算参数选取依据充分的取小值；调查分析不太清楚、依据欠充分的取大值；缺乏调查分析，无依据的提高一档进行指标赋值，最高分为100。
		每个高边坡工点至少有一个勘察断面，每个断面有2个勘探点（钻探、挖探、物探）	50~74				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说 明
			分值范围	取值			
		每个高边坡工点至少有一个勘察断面，每个断面有 3 个勘探点（钻探、挖探、物探）	25~49				
		每个高边坡工点至少有一个勘察断面，每个断面至少有 3 个钻探和挖探点	0~24				
	设计文件 X ₅₂	一坡一图一说明图件不完整	75~100	R ₅₂	γ ₅₂	X ₅₂ = R ₅₂ × γ ₅₂	完整的图件包括平面图、立面图、断面图、结构图及大样图等。
一坡一图一说明图件较完整		50~74					
一坡一图一说明图件完整，有计算参数，有边坡破坏力大小（如滑坡推力），有破裂面位置		25~49					
一坡一图一说明图件很完整，有计算参数，有边坡破坏力大小（如滑坡推力），有破裂面位置，有工程措施的抗滑力（如抗滑桩		0~24					

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说 明
			分值范围	取值			
		的抗滑力),提出施工安全工况、特殊工程的施工工艺及注意事项、施工风险分析及控制措施					

3.3.5 路堑高边坡施工安全总体风险按式 (3-2、3-3) 计算确定:

$$F = \sum X_{ij} \quad (3-2)$$

$$X_{ij} = R_{ij} \gamma_{ij} \quad (3-3)$$

式中, X_{ij}—评估指标的分值, i=1, 2, 3, 4, 5; j=1, 2, …, n。n为对应第i类评估指标包括重要指标的数量。

计算得出F值后, 对照表3-3确定路堑高边坡施工安全总体风险等级。

表 3-3 路堑高边坡施工安全总体风险分级标准

风险等级	F
等级IV (极高风险)	F > 60
等级III (高度风险)	45 < F ≤ 60
等级II (中度风险)	30 < F ≤ 45
等级I (低度风险)	F ≤ 30

(注: 根据评估工点风险的具体情况, 结合地区经验, 可对表 3-2 的数值区间进行适当调整。)

4 专项风险评估

4.1 一般要求

4.1.1 专项风险评估是在总体风险评估基础上，对达到高度风险及以上的路堑高边坡为评估单元，以施工作业活动为评估对象，根据其安全风险特点，进行风险辨识、分析、估测；并针对其中的重大风险源量化评估，划分风险等级，提出风险控制措施。专项风险评估可分为施工前专项评估和施工过程中专项评估。专项风险评估结论可作为制定、完善高边坡工程专项施工方案的依据。

4.1.2 满足下列条件之一的路堑高边坡，应开展专项风险评估：

- (1) 总体风险等级为Ⅲ级及以上的；
- (2) 总体风险评估中单一指标影响过大的。

4.1.3 专项风险评估的基本程序包括：风险辨识、风险分析、风险估测、风险控制。具体流程如图4-1所示。

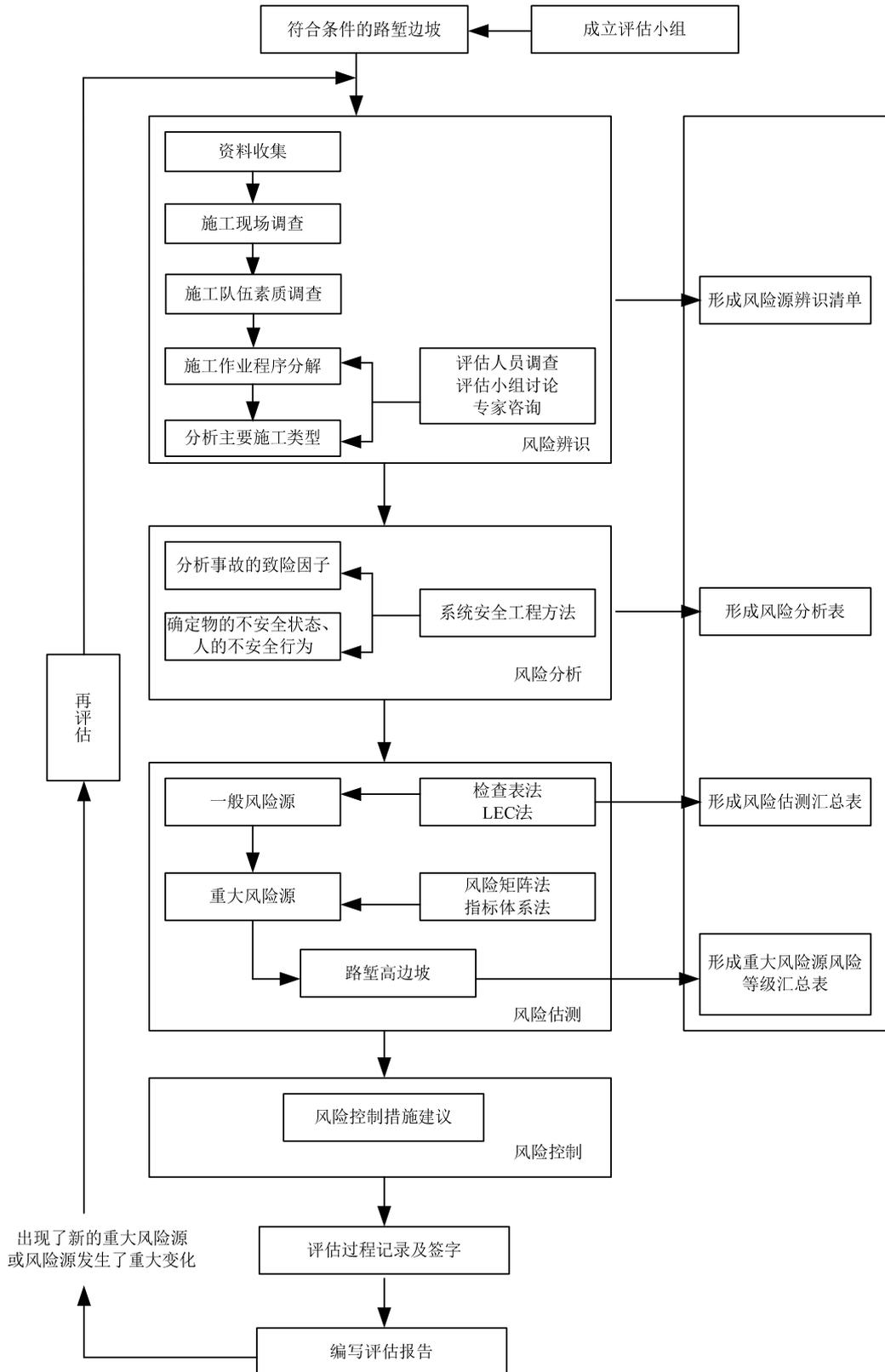


图 4-1 专项风险评估流程图

4.1.4 路堑高边坡分部分项工程开工前，应完成施工前专项风险评估，形成专项风险评估报告。

4.1.5 路堑高边坡施工过程中，出现如下情况之一的，应开展施工过程专项风险评估：

(1) 经论证出现了新的重大风险源；

(2) 风险源（致险因子）发生了重大变化，如现场揭露地质条件与事前判别的地质条件相差较大、主要施工工艺发生实质性改变、发生生产安全事故或重大险情等情况。

施工过程风险评估报告以报表形式反映，报表中应包含评估指标前后变化对比、现阶段风险评估等级、风险源及防控措施等。

4.2 风险辨识

4.2.1 风险辨识步骤包括：工程资料的收集整理、施工现场地质条件和环境条件的调查、施工队伍素质和管理制度的调查、施工作业程序分解、施工作业可能发生的风险事故类型分析。

4.2.2 专项风险评估需收集、整理的相关工程资料主要包括：

(1) 本工程的可行性研究报告、工程地质勘察报告、初步设计文件、施工图设计文件及工程施工组织设计文件等资料；

(2) 工程区域内的环境条件，包括建筑物、构筑物、埋藏物、管道、缆线、民防设施、铁路、公路、外电架空线路等可能造成风险事故的要素；

(3) 工程区域内地质、水文、气象等灾害事故资料；

(4) 同类工程事故资料；

(5) 其他与风险辨识对象相关的资料。

施工过程专项风险评估除以上资料外，还需收集：重要设计变更资料、施工记录文件、监控量测资料、质量检测报告。

4.2.3 施工现场地质条件和环境条件调查主要包括：

(1) 地质条件；

(2) 周边环境；

(3) 边坡变形破坏迹象和特征。

施工过程专项风险评估还需调查：补充地质勘察结果（如有）、现场开挖揭露地质情况的差异、周边环境的变化情况。

4.2.4 施工队伍素质和管理制度调查主要包括：

(1) 企业近十年业绩，同类工程经验和施工事故情况；

(2) 施工队伍素质，施工队伍的专业化作业能力和技术水平；

(3) 管理制度，各种管理制度是否健全。

施工过程专项风险评估还需调查：人员队伍变化情况、管理制度落实情况等。

4.2.5 施工作业程序分解是将路堑高边坡施工过程划为不同的评估单元，分析各评估单元的主要工序、施工方法、施工设备、施工材料等特点，从中辨识致险因子。

4.2.6 路堑高边坡专项风险评估单元以单一的工程措施为对象，同时采取两种以上工程措施的，应结合工程实际，进行工序分解。各工程措施的工序分解可参见附录A。

4.2.7 施工作业程序分解后，通过现场调查、评估小组讨论、专家咨询等方式，分析评估单元中可能发生的典型风险事故类型，并形成风险辨识清单，格式见表4-1。

表 4-1 路堑高边坡专项施工安全风险辨识清单

序号	风险源	判断依据
1	风险源 1	
2	风险源 2	
...	...	
N	风险源 N	

4.2.8 分析路堑高边坡工程措施可能发生的事故类型时，可参见附录B。

4.3 风险分析

4.3.1 对于物的不安全状态可能引起的事故，主要从地质条件变化、施工方案、施工环境、施工机械、自然灾害等方面分析。

4.3.2 对于人的不安全行为可能引起的事故，主要从操作错误、违反安全规程和管理缺陷等方面分析。

4.3.3 在路堑高边坡施工中，可能受到事故伤害的人员类型包括：作业人员本身、同一作业场所的其他作业人员、周围其他人员。事故后果主要是指：伤亡（失踪）和直接经济损失，但不局限于这两类损失。

4.3.4 风险分析通过评估小组讨论会的形式实施，可采用风险传递路径法、鱼刺图法、故障树分析法等系统安全工程理论进行分析。

4.3.5 风险分析的结果应填入表4-2。

表 4-2 路堑高边坡专项施工安全风险分析表

风险源	潜在的 事故类型	事故原因	事故原因	事故原因	事故原因	事故后果		
		1	2	3	4	受伤害 人员类型	伤害程度	经济损失
风险源1		物的不安 全状态	人的不安 全行为	管理缺陷	自然灾害			
风险源2								
.....								
风险源N								

4.4 风险估测

4.4.1 风险大小=事故发生可能性×事故后果严重程度。

“×”表示事故发生可能性和事故后果严重程度的组合。

4.4.2 风险估测方法应结合施工组织设计、潜在事故的特点等因素确定。

(1) 一般风险源的风险估测，宜开展定性评估，提出风险控制要求。

(2) 重大风险源的风险估测，应进行定量风险估测，确定风险等级，本《指南》推荐风险矩阵法和指标体系法。

4.4.3 事故可能性取决于物的不安全状态与人的不安全行为的组合。事故可能性的等级分成四级，如表4-3所示。

4.4.4 事故后果严重程度等级分成四级，本《指南》主要考虑

人员伤亡和直接经济损失。当多种后果同时产生时，应采用就高原则确定事故严重程度等级。对路堑高边坡施工事故造成的人员伤亡和直接经济损失的估计，本《指南》推荐根据周边环境、破坏后果，按表4-4进行事故严重程度等级划分，也可根据国家相关标准自行确定。

表 4-3 事故可能性等级标准

概率范围	中心值	概率等级描述	概率等级
>0.3	1	很可能	4
0.03~0.3	0.1	可能	3
0.003~0.03	0.01	偶然	2
<0.003	0.001	不太可能	1

注：(1) 当概率值难以取得时，可用频率代替概率。

(2) 中心值代表所给区间的对数平均值。

表 4-4 路堑高边坡坍塌事故后果严重程度等级标准

周边环境	后果描述	定性描述	等级
隧道（仰坡）、桥梁（桥台边坡）地段	隧道、桥梁在坍塌区范围内，可能破坏桥梁隧道	特大	4
其他重要结构物地段	重要结构物在坍塌区范围内，可能破坏重要结构物		
路基段	路基本体在坍塌区范围内，可能破坏路基本体	重大	3
其它	可能破坏路堑边坡或路堤边坡	较大	2
	在路堑边坡或路堤边坡以外发生破坏	一般	1

（注：其它重要结构物包括城乡居民楼、工业厂房、高压电塔、铁路、公路及管线等）

路堑高边坡坍塌区范围（破坏范围）可按式（4-1）估算：

$$L=(1\sim 4)H \quad (4-1)$$

式中，H—路堑高边坡开挖高度（m）；

L—塌滑区边缘至坡脚水平距离（m），老滑坡区、特别软弱的结构面（包括层面）取大值，无结构面取小值，其它取中间值。

4.4.5 事故可能性和事故严重程度的估测结果应汇总，填入表4-5。

4.4.6 采用矩阵法将事故可能性和严重程度进行组合，估测风险等级，专项风险等级分为四级：低度（I级）、中度（II级）、高度（III级）、极高（IV级），如表4-6所示。

表 4-5 风险估测汇总表

编 号	风险源		风险估测				
	风险源	潜在的事故类型	事故严重程度			事故可能性	风险大小
			人员伤亡	经济损失	严重程度等级		
1	风险源1						
2	风险源2						
...	...						
N	风险源N						

表 4-6 专项风险等级标准

严重程度等级 可能性等级		一般	较大	重大	特大
		1	2	3	4
很可能	4	高度Ⅲ	高度Ⅲ	极高Ⅳ	极高Ⅳ
可能	3	中度Ⅱ	高度Ⅲ	高度Ⅲ	极高Ⅳ
偶然	2	中度Ⅱ	中度Ⅱ	高度Ⅲ	高度Ⅲ
不太可能	1	低度Ⅰ	中度Ⅱ	中度Ⅱ	高度Ⅲ

4.5 重大风险源评估

4.5.1 路堑高边坡重大风险源评估采用定性与定量相结合方法。事故严重程度的估测方法推荐采用专家调查法，事故可能性的估测方法推荐采用指标体系法。

4.5.2 事故严重程度风险评估损失等级标准可按表4-4进行估计，主要从人员伤亡、直接经济损失两个方面进行估算，当人员伤亡与直接经济损失两种后果同时产生时，应采用就高原则确定事故严重程度等级。

4.5.3 选取物的不安全状态引起的事故可能性评估指标时，主要考虑某些典型事故类型，如边坡失稳、塌方、坡面病害、高处坠落等可能导致重大人员伤亡及财产损失事故类型。

4.5.4 物的不安全状态引起的事故可能性评估以单一的工程措施为对象，针对重大风险源，本《指南》建立了以下工程措

施事故可能性评估指标体系：（1）边坡开挖；（2）预应力锚固；（3）人工挖孔抗滑桩；（4）抗滑挡墙；（5）地下排水隧洞；（6）注浆加固。

4.5.5 评估指标应按重要性从高到低顺序排列，通过权重系数调节各评估指标的重要性。

4.5.6 路堑高边坡开挖施工事故可能性评估，主要基于边坡失稳、塌方、坡面病害事故等，建立评估指标体系，可参见表4-7。

4.5.7 边坡开挖变形破坏说明边坡风险事故已有可能趋向于发生。当出现变形破坏时，应按表4-8对边坡开挖风险的可能性进行调整，表中 D_0 为边坡开挖变形破坏迹象的调整系数。边坡变形破坏迹象根据现场的裂缝展布情况确定，也可根据边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力的变化确定。

表 4-7 边坡开挖施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
边坡规模 X_{11}	边坡高度 X_{11}	土质边坡 $H \geq 40m$, 岩质边坡 $H \geq 60m$	75~100	R_{11}	γ_{11}	$X_{11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	<p>(1) 土质边坡 $H \geq 60m$、岩质边坡 $H \geq 80m$ 时, 基本分值确定为 100, 其他分值可按高度线性内插计算取值。</p> <p>(2) 在每一档分值给定时, 当单级坡 (两碎落台间距) 土质边坡 $h \geq 12m$、岩质边坡 $h \geq 15m$ 时取大值; 当单级土质边坡 $h \leq 6m$、岩质边坡 $h \leq 8m$ 时取小值; 当单级土质边坡高度 $h = 8m$、岩质边坡 $h = 10m$ 时, 取中间值。其他情况按分级高度线性内插。</p> <p>(3) 当用上述两种标准所给定分值不一时, 采用大值。</p>
		土质边坡 $30m \leq H < 40m$, 岩质边坡 $40m \leq H < 60m$	50~74				
		土质边坡 $20m \leq H < 30m$, 岩质边坡 $30m \leq H < 40m$	25~49				
		土质边坡 $H < 20m$, 岩质边坡 $H < 30m$	0~24				
	路堑边坡超过所在自然斜坡的比拟坡坡度值 $\Delta \alpha \geq 15^\circ$	75~100	R_{12}	γ_{12}	$X_{12} = R_{12} \times \gamma_{12}$		
$10^\circ \leq \Delta \alpha < 15^\circ$	50~74						
$5^\circ \leq \Delta \alpha < 10^\circ$	25~49						
$\Delta \alpha < 5^\circ$	0~24						
边坡开挖方法 X_{21}	开挖方法	石方爆破开挖	75~100	R_{21}	γ_{21}	$X_{21} = R_{21} \times \gamma_{21}$	爆破震动对边坡扰动大, 不利于边坡稳定, 风险大。岩
		石方机械开挖	50~74				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重系数 (γ_{ij})	评估分值 (X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
开挖 X2	X ₂₁	土方机械开挖	25~49				质边坡的开挖宜采用控制爆破；当周边环境要求高时可采用机械破碎开挖。当开挖边坡高陡时取大值。
		土方人工开挖	0~24				
	工序衔接 X ₂₂	无序开挖	75~100	R ₂₂	γ_{22}	X ₂₂ = R ₂₂ × γ_{22}	
		开挖多级再加固防护	50~74				
开挖二级再加固防护	25~49						
开挖一级即加固防护	0~24						
地质条件变化 X ₃	岩性变化 X ₃₁	开挖揭露坡体中有易滑及软弱地层，而事前判别中无	75~100	R ₃₁	γ_{31}	X ₃₁ = R ₃₁ × γ_{31}	岩性差距大可能导致强度破坏的可能性大； 根据开挖揭露坡体中的地层岩性及风化程度与事前判别进行对比。
		开挖揭露基岩风化类别与事前判别差2级以上	50~74				
		开挖揭露基岩风化类别与事前判别差1级以上	25~49				
		开挖揭露基岩风化类别与事前判别基本一致	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
坡体结构变化	X ₃₂	坡体中存在向临空缓倾贯通软弱结构面，而事前判别中无	75~100	R ₃₂	γ ₃₂	X ₃₂ = R ₃₂ × γ ₃₂	根据开挖揭露的结构面的贯通性、充填情况，与设计文件中依据的坡体结构的描述进行对比分析。
		坡体中存在向临空缓倾不贯通软弱结构面，而事前判别中无	50~74				
		岩节理裂隙发育，而事前判别为不发育	25~49				
		开挖揭露的坡体结构与事前判别基本一致	0~24				
地下水变化	X ₃₃	坡体中有连续的含水层分布而事前判别无	75~100	R ₃₃	γ ₃₃	X ₃₃ = R ₃₃ × γ ₃₃	根据地下水类型、含水层的分布、含水量的大小确定。
		坡体中有鸡窝状地下水分布而事前判别无	50~74				
		坡体中有含水量较大的地层而事前判别无	25~49				
		坡体中含水量与事前判别基本一致	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
诱发因素 X ₄	施工季节 X ₄₁	雨季施工，施工周期内出现暴雨；或施工地区过去5年内年均降雨超过800mm	75~100	R ₄₁	γ ₄₁	X ₄₁ = R ₄₁ × γ ₄₁	根据边坡所在区域的降雨等级进行确定。如没有过去5年内年均降雨量资料，可用当地的年降雨量数据代替5年内年均降雨超过1000mm，分值为100，其他分值可按实际值线性内插取值。
		雨季施工，施工周期内出现大雨；或施工地区过去5年内年均降雨600-800mm	50~74				
		雨季施工，施工周期内出现中雨；或施工地区过去5年内年均降雨300-600mm	25~49				
		旱季施工；施工周期内出现小雨或不降雨；或施工地区过去5年内年均降雨不超过300mm	0~24				
	自然灾害影响 X ₄₂	自然灾害频繁发生	75~100	R ₄₂	γ ₄₂	X ₄₂ = R ₄₂ × γ ₄₂	
		自然灾害多发	50~74				
		自然灾害偶发	25~49				
		自然灾害很少	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
施工环境 X ₅	施工周边环境 X ₅₁	在坡顶开挖线以外 0.5H、路基下方 1.0H 范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、水体设施	75~100	R ₅₁	γ ₅₁	X ₅₁ = R ₅₁ × γ ₅₁	建筑物距离边坡近的取大值，远的取小值。
		在坡顶开挖线以外 1.0H、路基下方 1.5H 范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、水体设施	50~74				
		在坡顶开挖线以外 1.5H、路基下方 2.0H 范围内有地表建筑物、地下埋藏物、高压线塔、水体等设施	25~49				
		设施位于上述范围以外	0~24				

表 4-8 边坡开挖变形破坏迹象的调整系数

等级	分 类		调整系数 (D_0)		说明
			范围	分值	
一	边坡上有长大贯通裂缝, 整体变形趋向于贯通, 随时有整体失稳的可能	边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力处于危险域	$1.3 \leq D_0 < 1.5$	D_0	边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力根据监测资料获取。边坡的控制值应参照设计文件与相关规范确定。绝对安全域为控制值 0.8; 安全域为控制值以内; 警戒域采用控制值的 1.2; 危险域采用控制值的 1.3。各地也可根据实际情况综合确定调整系数。
二	边坡上有断断续续的裂缝, 表现处有整体失稳的可能	边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力处于警戒域	$1.2 \leq D_0 < 1.3$		
三	边坡上出现局部变形迹象, 但可能发展为整体变形	边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力处于相对安全域	$1.1 \leq D_0 < 1.2$		
四	边坡上出现局部变形迹象, 不可能发展为整体变形	边坡变形量、变形速率及支挡加固结构内力处于安全域	$1.0 \leq D_0 < 1.1$		

4.5.8 预应力锚固施工事故可能性评估, 主要基于边坡失稳(滑坡、坍塌、崩塌等)、塌方(边坡开挖引起的坍塌)、高处坠落等事故, 建立评估指标体系, 可参见表4-9。

表 4-9 预应力锚固施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
作业几何因素 X ₁	作业高度 X ₁₁	H > 16m	75~100	R ₁₁	γ ₁₁	X ₁₁ = R ₁₁ × γ ₁₁	作业区高度大，施工安全风险大。H ≥ 20m，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		12m < H ≤ 16m	50~74				
		8m < H ≤ 12m	25~49				
		H ≤ 8m	0~24				
	作业坡度 X ₁₂	α > 60°	75~100	R ₁₂	γ ₁₂	X ₁₂ = R ₁₂ × γ ₁₂	α ≥ 70°，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		45° < α ≤ 60°	50~74				
		30° < α ≤ 45°	25~49				
		α ≤ 30°	0~24				
	钻孔深度 X ₁₃	L > 40m	75~100	R ₁₃	γ ₁₃	X ₁₃ = R ₁₃ × γ ₁₃	有地下水、破碎、软弱的地层取大值，反之取小值。L ≥ 60m，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		30m < L ≤ 40m	50~74				
		20m < L ≤ 30m	25~49				
		L ≤ 20m	0~24				
锚固结构 X ₂	锚固结构类型 X ₂₁	拉压混合型锚索(a型)	75~100	R ₂₁	γ ₂₁	X ₂₁ = R ₂₁ × γ ₂₁	a型锚索结构和施工工艺复杂，易出现质量隐患；b型锚索承压板接触处的锚固体受压集中，要求抗压强度高。
		压力型锚索(b型)	50~74				
		拉力型锚索(c型)	25~49				
		锚杆	0~24				
	锚固反力结构 X ₂₂	垫墩	75~100	R ₂₂	γ ₂₂	X ₂₂ = R ₂₂ × γ ₂₂	地梁、垫墩整体性较差，安全风险较大，框架和桩的整体性较好，风险较小。
		地梁	50~74				
		框架	25~49				
		抗滑桩	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重 系数 (γ_{ij})	评估 分值 (X_{ij})	说明
			分值 范围	取 值			
地质环境 X_3	锚固 段地 层 X_{31}	软土层, 含水易缩 孔	75~100	R_{31}	γ_{31}	$X_{31} =$ $R_{31} \times \gamma_{31}$	根据成孔的难易程度确定。
		松散、破碎体, 含 水易塌孔	50~74				
		软质岩层	25~49				
		其它地层	0~24				
	地下 水 X_{32}	水位高度占锚固 段 2/3 以上钻孔范 围	75~100	R_{32}	γ_{32}	$X_{32} =$ $R_{32} \times \gamma_{32}$	根据施工中锚固段的地下水 承压范围确定。水位高度占 锚固段 4/5 以上钻孔范围, 分值为 100, 其他按线性内 插法取值。
		水位高度占锚固 段 1/3 以上钻孔范 围	50~74				
		水位高度占锚固 段 1/10 至 1/3 钻 孔范围	25~49				
		水位高度占锚固 段小于 1/10 钻孔 范围	0~24				
施 工 方 案 X_4	工 序 衔 接 X_{41}	开挖多级锚固多级	75~100	R_{41}	γ_{41}	$X_{41} =$ $R_{41} \times \gamma_{41}$	边坡分段开挖取小值, 否则 取大值。
		开挖 2 级锚固 2 级	50~74				
		开挖 1 级锚固 1 级	25~49				
		逐级边坡分层开 挖和锚固	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重 系数 (γ_{ij})	评估 分值 (X_{ij})	说明
			分值 范围	取 值			
钻孔 方法 X_{42}	泵送水水钻	75~100	R_{42}	γ_{42}	$X_{42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	钻孔方法和地层条件有关，一般情况下要求风动干钻。	
	人工送水水钻	50~74					
	螺旋钻进	25~49					
	风动干钻	0~24					
脚手 架 X_{43}	脚手架高度 $h > 24m$	75~100	R_{43}	γ_{43}	$X_{43} = R_{43} \times \gamma_{43}$	脚手架基础不平整、地基软取大值、坡度陡取大值；反之，取小值。加固方式为与山体固定联接，材料为钢管扣件取小值，反之，取大值。脚手架高度 $h \geq 30m$ ，分值为100，其他按线性内插法取值。	
	$16m < h \leq 24m$	50~74					
	$8m < h \leq 16m$	25~49					
	$h \leq 8m$	0~24					
施 工 环 境 X_5	周 边 环 境 X_{51}	钻孔深度范围内的地下和地表有一级工程	75~100	R_{51}	γ_{51}	$X_{51} = R_{51} \times \gamma_{51}$	一至三级工程等级参照《岩土工程勘察规范》GB50021-2001。
		钻孔深度范围内的地下和地表有二级工程	50~74				
		钻孔深度范围内的地下和地表有三级工程	25~49				
		无任何人工建筑	0~24				
气候 条件	施工期很长，有雨、雾、雪、霜、冰冻天气	75~100	R_{52}	γ_{52}	$X_{52} = R_{52} \times \gamma_{52}$	两种及以上不利施工的天气环境同时存在取大值，其它取小值。	

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
	X ₅₂	施工期长, 经历雨季, 无雾、雪、霜、冰冻天气	50~74		γ ₅₃	X ₅₃ = R ₅₃ × γ ₅₃	边坡处于迎风面、风口地带取大值, 反之取小值。
		施工期短, 不经历雨季, 有雾、雪、霜、冰冻天气	25~49				
		施工期段, 无雨、雾、雪、霜、冰冻天气	0~24				
	风力条件 X ₅₃	风力五级以上	75~100	R ₅₃			
		风力四级	50~74				
		风力三级	25~49				
		风力三级以下	0~24				

4.5.9 人工挖孔抗滑桩施工事故可能性评估，主要基于塌方、高处坠落、爆炸、气体中毒等事故，建立评估指标体系，可参见表4-10。

表 4-10 人工挖孔抗滑桩施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
桩体类型	桩长 X ₁₁	L ≥ 35m	75~100	R ₁₁	γ ₁₁	X ₁₁ = R ₁₁ × γ ₁₁	L ≥ 45m, 分值为 100, 其他按线性内插法取值。
		25m ≤ L < 35m	50~74				
		15m ≤ L < 25m	25~49				
		L < 15m	0~24				
	桩型 X ₁₂	钢架式 (门型、h 型、排架式)	75~100	R ₁₂	γ ₁₂	X ₁₂ = R ₁₂ × γ ₁₂	根据结构复杂情况和受力模式确定。
		深埋式	50~74				
		全埋式	25~49				
		悬臂式	0~24				
地质环境	地层条件 X ₂₁	砂层、软土、松土, 含水	75~100	R ₂₁	γ ₂₁	X ₂₁ = R ₂₁ × γ ₂₁	根据开挖过程中是否会发生缩壁、塌孔、突泥涌水具体确定。
		砂层、软土、松土, 潮湿	50~74				
		四~六类土 (爆破法)	25~49				
		其它地层	0~24				
	地形条件 X ₂₂	陡于 30° 的斜坡	75~100	R ₂₂	γ ₂₂	X ₂₂ = R ₂₂ × γ ₂₂	结合周围地形条件确定。陡于 40° 的斜坡, 分值为 100, 其他按线性内插法取值。
		陡于 20°、缓于 30° 的斜坡	50~74				
		陡于 10°、缓于 20° 的斜坡	25~49				
		缓于 10° 的平坡	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
地下水	X ₂₃	管道式涌水	75~100	R ₂₃	γ ₂₃	X ₂₃ = R ₂₃ × γ ₂₃	结合施工现场地下水出露情况进行判断。
		线状~股状流水	50~74				
		线状流水	25~49				
		干~滴渗水	0~24				
桩孔施工	X ₃₁	无护壁开挖	75~100	R ₃₁	γ ₃₁	X ₃₁ = R ₃₁ × γ ₃₁	每层开挖高度根据地层岩性和含水状态确定，确保开挖和护壁过程中，桩孔自稳，一般0.5~1.0m。在完整岩体中的开挖，不受该指标限值，从现场和施工组织材料确定桩孔施工护壁情况。
		开挖多层护壁多层	50~74				
		开挖两层护壁两层	25~49				
		开挖一层护壁一层	0~24				
跳槽施工	X ₃₂	不跳槽施工	75~100	R ₃₂	γ ₃₂	X ₃₂ = R ₃₂ × γ ₃₂	雨季施工取大值；旱季施工取小值。
		跳一根施工多根	50~74				
		跳一根施工两根	25~49				
		跳一根施工一根	0~24				
有毒有害气体	X ₄₁	存在有毒有害气体分布，短期内造成人员伤亡	75~100	R ₄₁	γ ₄₁	X ₄₁ = R ₄₁ × γ ₄₁	根据硫化氢、瓦斯、一氧化碳、二氧化碳等含量具体判定。
		存在有毒有害气体分布，长期内造成人员伤亡	50~74				
		存在有毒有害气体分布，短期内危害身体健康	25~49				
		存在有毒有害气体分布，长期内危害身体健康	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
	周边环境 X ₄₂	在滑坡体或已变形边坡抢险挖桩加固	75~100	R ₄₂	γ ₄₂	X ₄₂ = R ₄₂ × γ ₄₂	水体经常性水位在桩深一半以上时、或距离桩位小于 10m 的取大值，其它取小值。
		桩位附近河、湖等水体高，且水力联系好	50~74				
		桩位附近河、湖等水体高，且水力联系较好	25~49				
		桩位附近河、湖等水体高，且水力联系一般	0~24				
	通风照明 X ₄₃	需要通风照明，但无通风照明措施	75~100	R ₄₃	γ ₄₃	X ₄₃ = R ₄₃ × γ ₄₃	根据现场通风照明情况确定。
		空气污浊，光线昏暗	50~74				
		有较好的通风照明措施	25~49				
		桩孔较浅，无需通风照明	0~24				

4.5.10 抗滑挡墙施工事故可能性评估，主要基于塌方事故等，建立评估指标体系，可参见表4-11。

表 4-11 抗滑挡墙施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
墙体因素 X ₁	墙高 X ₁₁	H > 12m	75~100	R ₁₁	γ ₁₁	X ₁₁ = R ₁₁ × γ ₁₁	重力式挡墙取大值，锚杆挡墙取小值。H ≥ 16m，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		10m < H ≤ 12m	50~74				
		8m < H ≤ 10m	25~49				
		H ≤ 8m	0~24				
	结构类型 X ₁₂	加筋土挡墙	75~100	R ₁₂	γ ₁₂	X ₁₂ = R ₁₂ × γ ₁₂	根据挡墙施工的难易程度确定。
		锚碇板、锚杆挡土墙	50~74				
		扶壁式、悬臂式挡土墙	25~49				
		重力式挡土墙	0~24				
	基础埋深 X ₁₃	h ₀ > 4m	75~100	R ₁₃	γ ₁₃	X ₁₃ = R ₁₃ × γ ₁₃	根据开挖过程中是否出现塌方确定。h ₀ ≥ 5m，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		2.5m < h ₀ ≤ 4m	50~74				
		1.5m < h ₀ ≤ 2.5m	25~49				
		h ₀ ≤ 1.5m	0~24				
	地质环境 X ₂	基础地层条件 X ₂₁	一、二类土	75~100	R ₂₁	γ ₂₁	X ₂₁ = R ₂₁ × γ ₂₁
三、四类土			50~74				
四、五类土			25~49				
六类土			0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R_{ij})		权重 系数 (γ_{ij})	评估 分值 (X_{ij})	说明
			分 值 范 围	取 值			
	持力 层地 质符 合性 X_{22}	不符合（实际岩性强度更低、稳定性更差）	75~100	R_{22}	γ_{22}	$X_{22} =$ $R_{22} \times \gamma_{22}$	符合性根据： $\leq 30\%$ 、 $30\% \sim 50\%$ 、 $50\% \sim 70\%$ 、 $\geq 70\%$ 为 界限进行判断。
		小部分符合	50~74				
		基本符合	25~49				
		符合	0~24				
	地下 水条 件 X_{23}	基础在地下水位以下 4m	75~100	R_{23}	γ_{23}	$X_{23} =$ $R_{23} \times \gamma_{23}$	根据地下水是否造成 开挖过程的塌方及永 久排水的难易程度确 定。基础在地下水位以 下 5m，分值为 100，其 他按线性内插法取值。
		基础在地下水位以下 2~4m	50~74				
		基础在地下水位以下 0~2m	25~49				
		基础在地下水位以上	0~24				
	开挖 分段 方式 X_{31}	分段开挖长度 $L > 12m$	75~100	R_{31}	γ_{31}	$X_{31} =$ $R_{31} \times \gamma_{31}$	主要考虑开挖对边 坡稳定的影响。
		$10m < L \leq 12m$	50~74				
		$8m < L \leq 10m$	25~49				
		$L \leq 8m$	0~24				
施 工 方 案 X_3	脚 手 架 X_{32}	脚手架高度 $h > 16m$	75~100	R_{32}	γ_{32}	$X_{32} =$ $R_{32} \times \gamma_{32}$	脚手架基础不平整取 大值，地基软取大值， 坡度陡取大值；反之， 取小值。加固方式为与 山体固定联接，材料为 钢管扣件取小值，反 之，取大值。脚手架高 度 $h \geq 20m$ ，分值为 100，其他按线性内插 法取值。
		$10m < h \leq 16m$	50~74				
		$6m < h \leq 10m$	25~49				
		$h \leq 6m$	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
施工环境 X ₄	周边环境 X ₄₁	在滑坡体或已变形的边坡进行挖桩施工	75~100	R ₄₁	γ ₄₁	X ₄₁ = R ₄₁ × γ ₄₁	水位在基础底面以上时或距离开挖边小于10m的取大值,其它取小值。
		基础附近河、湖等水体高,且水力联系好	50~74				
		基础附近河、湖等水体高,且水力联系较好	25~49				
		基础附近河、湖等水体高,且水力联系一般	0~24				

4.5.11 地下排水隧洞施工事故可能性评估,主要基于洞内塌方、突水涌泥、爆破事故等,建立评估指标体系,可参见表4-12。

表 4-12 地下排水隧洞施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值 (R _{ij})		权重系数 (γ _{ij})	评估分值 (X _{ij})	说明
			分值范围	取值			
隧洞尺寸 X ₁	洞身截面最大内径 X ₁₁	最大内径 R>3.0m	75~100	R ₁₁	γ ₁₁	X ₁₁ = R ₁₁ × γ ₁₁	最大内径 R>3.6m,分值为 100,其他按线性内插法取值。
		2.0m<R≤3.0m	50~74				
		1.5m<R≤2.0m	25~49				
		R≤1.5m	0~24				
地质环境 X ₂₁	地层条件 X ₂₁	V、VI类围岩	75~100	R ₂₁	γ ₂₁	X ₂₁ = R ₂₁ × γ ₂₁	完整性差、有地下水的取大值,反之取小值。
		IV类围岩	50~74				
		III类围岩	25~49				
		I、II类围岩	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值(R_{ij})		权重系数(γ_{ij})	评估分值(X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
X ₂	地质条件符合性 X ₂₂	不符合(实际岩性强 度更低、稳定性更差)	75~100	R ₂₂	γ_{22}	X ₂₂ = R ₂₂ × γ_{22}	符合性根据≦30%、 30%~50%、50%~70%、 ≧70%为界限进行 判断。
		小部分符合	50~74				
		基本符合	25~49				
		符合	0~24				
	地下水 X ₂₃	股状管道式涌水	75~100	R ₂₃	γ_{23}	X ₂₃ = R ₂₃ × γ_{23}	已探明地下水赋存 情况的取小值,没有 探明地下水赋存 情况的取大值。
		线状~股状流水	50~74				
		线状流水	25~49				
		干~滴渗水	0~24				
施 工 方 案 X ₃	一次爆 破进 度 X ₃₁	一次爆破进度 $S \geq 2m$	75~100	R ₃₁	γ_{31}	X ₃₁ = R ₃₁ × γ_{31}	主要针对爆破作业 可能引起的塌方事 故而言。一次爆破 进度 $S \geq 3m$,分 值为100,其他按 线性内插法取值。
		$1m < S < 2m$	50~74				
		$0 < S \leq 1m$	25~49				
		$S=0$ (无爆破)	0~24				
	开 挖 方 法 X ₃₂	一次开挖进度 $>1.5m$	75~100	R ₃₂	γ_{32}	X ₃₂ = R ₃₂ × γ_{32}	一次开挖进度 $S \geq 2.5m$,分 值为100,其他按 线性内插法取值。
		$1 < S \leq 1.5m$	50~74				
		$0.5 < S \leq 1m$	25~49				
		$S \leq 0.5m$	0~24				
	支 护 方 式 X ₃₃	裸洞无临时支护	75~100	R ₃₃	γ_{33}	X ₃₃ = R ₃₃ × γ_{33}	目前常用的预制混 凝土构件拼装支 护、现场浇筑混 凝土支护、块石 砌筑支护等。预 制混
		木撑临时支护	50~74				
		钢撑临时支护	25~49				
		液压模架临时支护	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值(R_{ij})		权重系数(γ_{ij})	评估分值(X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
施工环境 X_4	周边环境 X_{41}	在滑坡体或已变形的边坡进行挖桩施工	75~100	R_{41}	γ_{41}	$X_{41} = R_{41} \times \gamma_{41}$	土构件拼装支护采用与临时支护结合更安全。 水位在基础底面以上时或距离开挖边小于 10m 的取大值，其它取小值。
		基础附近河、湖等水体高，且水力联系好	50~74				
		基础附近河、湖等水体高，且水力联系较好	25~49				
		基础附近河、湖等水体高，且水力联系一般	0~24				

4.5.12 边坡注浆加固施工事故可能性评估，主要基于边坡失稳、机械伤害等，建立评估指标体系，可参见表4-13。

表 4-13 边坡注浆施工事故可能性评估指标体系

分类	评估指标	分 级	基本分值(R_{ij})		权重系数(γ_{ij})	评估分值(X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
微型桩尺寸 X_1	微型桩径 X_{11}	桩径 $R > 30\text{cm}$	75~100	R_{11}	γ_{11}	$X_{11} = R_{11} \times \gamma_{11}$	孔径大施工难度大，风险大。桩径 $R \geq 36\text{cm}$ ，分值为 100，其他按线性内插法取值。
		$20\text{cm} < R \leq 30\text{cm}$	50~74				
		$10\text{cm} < R \leq 20\text{cm}$	25~49				
		$R \leq 10\text{cm}$	0~24				

分类	评估指标	分 级	基本分值(R_{ij})		权重系数(γ_{ij})	评估分值(X_{ij})	说明		
			分值范围	取值					
边坡因素	X ₂₁	松软、富水	75~100	R ₂₁	γ_{21}	X ₂₁ = R ₂₁ × γ_{21}	松软、破碎、富水三种条件有其一的取小值，有其二以上的取大值。		
		破碎、富水	50~74						
		松软、破碎	25~49						
		其它	0~24						
X ₂₂	X ₂₂	边坡处于滑动阶段	75~100	R ₂₂	γ_{22}	X ₂₂ = R ₂₂ × γ_{22}	病害边坡处于变形之中，安全风险大。		
		边坡在外部条件诱发下极易滑动	50~74						
		边坡处于暂时稳定状态，外部条件诱发下较易滑动	25~49						
		边坡未滑动	0~24						
施工方案	X ₃₁	X ₃₁	多次间歇式注浆	75~100	R ₃₁	γ_{31}	X ₃₁ = R ₃₁ × γ_{31}	注浆次数对边坡稳定影响大，风险大。	
			多次劈裂注浆	50~74					
			二次劈裂注浆	25~49					
			一次常压注浆	0~24					
	X ₃₂	X ₃₂	X ₃₂	注浆压力 P>5.0 (MPa)	75~100	R ₃₂	γ_{32}	X ₃₂ = R ₃₂ × γ_{32}	注浆压力对边坡稳定影响大，风险大。注浆压力 P≥5.5 (MPa)，分值为 100，其他按线性内插法取值。
				3.0 (MPa) < P ≤ 5.0 (MPa)	50~74				
				1.0 (MPa) < P ≤ 3.0 (MPa)	25~49				
				P ≤ 1.0 (MPa)	0~24				
施工环境	X ₄₁	X ₄₁	注浆站与施工人员不通视，噪音大	75~100	R ₄₁	γ_{41}	X ₄₁ = R ₄₁ × γ_{41}	通视和噪音条件有其中一项不利于安全的取小值，有两项的取大值。	
			注浆站与施工人员不通视，噪音小	50~74					

分类	评估指标	分 级	基本分值(R_{ij})		权重系数(γ_{ij})	评估分值(X_{ij})	说明
			分值范围	取值			
X_4		注浆站与施工人员通视, 噪音大	25~49				
		注浆站与施工人员通视, 噪音小	0~24				
	周边环境 X_{42}	注浆区附近河、湖等水体高, 且水力联系好	75~100	R_{42}	γ_{42}	$X_{42} = R_{42} \times \gamma_{42}$	水位在基础底面以上时或距离开挖边坡小于 10m 的取大值, 其它取小值。
		注浆区附近河、湖等水体高, 且水力联系较好	50~74				
		注浆区附近河、湖等水体高, 且水力联系一般	25~49				
		注浆区附近河、湖等水体低, 或无水力联系的水体	0~24				

4.5.13 人的不安全行为引发的事故可能性的评估指标体系, 见表4-14, 将评估指标分值通过公式 $M=A+B+C+D+E+F+G+H+I+J$ 进行计算。根据计算分值对照表4-15找出安全管理调整系数 λ 。

表 4-14 安全管理评估指标体系

评估指标	分类	分值	说明
总包企业资质 A	二级	2	资质级别越高的施工企业安全管理相对完善，事故风险相对较小。
	一级	1	
	特级	0	
专业分包 企业资质 B	无资质	2	针对当前作业的分包企业。
	有资质	0	
劳务分包 企业资质 C	无资质	2	针对当前作业的分包企业。
	有资质	0	
作业人员 经验 D	无经验	2	从特种作业人员、一线施工人员的工程经验考虑。
	有一定经验	1	
	经验丰富	0	
项目技术管理 人员经验 E	无经验	2	项目管理人员和专业技术人员具有3次及以上的滑坡治理、边坡建设经验为丰富。1~2次的为有一定经验，没有项目管理经历的为无经验。
	有一定经验	1	
	经验丰富	0	
专职安全 人员配备 F	不符合	2	从“企业负责人（A类）、项目负责人（B类）、专职安全员（C类）”三类人员的持证、在岗情况考虑。
	基本符合规定	1	
	符合规定	0	
安全投入 G	不符合	2	安全资金、人员、设备三项投入都满足的为符合规定，三项都不满足的为不符合规定。
	基本符合规定	1	
	符合规定	0	
机械设备配置 及管理	无建档台账及缺日常管理维护	2	按合同要求配置及日常维护保养到位。
	台账建档管理，缺日常维护	1	

评估指标	分类	分值	说明
H	台账建档完备，管理、维护到位	0	
专项施工方案 I	可操作性较差	2	可操作性指与现场实际情况符合，能够按方案执行，并到得预期效果。
	可操作性一般	1	
	可操作性强	0	
企业工程业绩 J	无	2	企业有类似工程施工经验的安全风险小。
	同类工程2次及以下	1	
	同类工程3次及以上	0	

表 4-15 安全管理评估指标分值与安全管理调整系数对照表

计算分值M	调整系数 λ
$M \geq 15$	1.2
$12 \leq M < 15$	1.1
$9 \leq M < 12$	1
$6 \leq M < 9$	0.9
$M < 6$	0.8

4.5.14 路堑高边坡施工风险事故可能性大小计算按式（4-2、4-3）计算确定：

$$P = \lambda \cdot D_0 \sum X_{ij} \quad (4-2)$$

$$X_{ij} = R_{ij} \gamma_{ij} \quad (4-3)$$

式中， X_{ij} —二级指标的分值， $i=1, 2, \dots, m$ ， $j=1, 2, \dots, n$ ； m 为分类项次， n 为对应第 i 类评估指标包括重要指标的数量。

D_0 —边坡开挖变形破坏迹象的调整系数，按表 4-8 取值，其他重大风险源 $D_0=1$ ；

λ —安全管理调整系数。

计算得到出 P 值后，根据 P 值对照表 4-16 确定各重大风险源发生风险事故的可能性等级。

4.5.15 根据事故可能性等级、事故严重程度等级，采用风险矩阵法确定路堑高边坡各工程措施的施工安全风险等级，见表 4-6。

表 4-16 重大风险源事故可能性等级标准

概率等级描述	概率等级	P
很可能	4	$P > 60$
可能	3	$45 < P \leq 60$
偶然	2	$30 < P \leq 45$
不太可能	1	$P \leq 30$

4.5.16 将专项风险评估的风险等级用不同颜色在路堑高边坡施工形象进度图中标识出来，形成施工安全风险分布图，并附在评估报告中，同时以列表方式汇总路堑高边坡工程重大风险源，填入表4-17。

表 4-17 路堑高边坡重大风险源风险等级汇总表

重大风险源	事故可能性等级	事故严重程度等级			风险等级	评定理由
		临近建（构）筑物损坏后果	人员伤亡	经济损失		
风险源1						
.....						
风险源N						

5 风险控制

5.1 一般要求

5.1.1 根据风险评估结果与接受准则，提出风险控制对策如表5-1。

表 5-1 风险接受准则与控制对策

风险等级	接受准则	控制对策
等级 I（低度风险）	可忽略	不需采取特别的风险防控措施。
等级 II（中度风险）	可接受	需采取风险防控措施，严格日常安全生产管理，加强现场巡视。
等级 III（高度风险）	不期望	必须采取措施降低风险，降低风险的成本不宜高于风险发生后的损失。
等级 IV（极高风险）	不可接受	必须高度重视，采取切实可行的规避措施并加强监测，否则要不惜代价将风险至少降低到不期望的程度。

5.1.2 根据不同的风险等级提出分级控制措施，实施现场管理和监控预警。各等级风险管理措施建议如表5-2所示。

表 5-2 风险分级管理措施

风险级别	分级管理措施			
等级 I（低度风险）	日常管理			
等级 II（中度风险）	日常管理	监控预警	部分专项整治	
等级 III（高度风险）	日常管理	监控预警	全面专项整治	
等级 IV（极高风险）	日常管理	监控预警	全面专项整治	应急抢险

5.2 风险控制措施

5.2.1 总体风险评估和专项风险评估均应提出风险控制措施建议。

5.2.2 总体风险评估应提纲携领地提出重点风险源的主要控制措施建议，重点是需投入较多物力、财力才能控制风险的措施。

5.2.3 专项风险评估应针对一般风险源、重大风险源提出系统全面、重点突出的控制措施建议，作为现场安全管理、安全交底、专项施工方案编制的依据。

5.2.4 针对路堑高边坡风险事故的原因，施工期间可采取风险控制措施包括：施工方案调整、加强安全措施、提高管理水平和人员的素质。

5.2.5 调整施工方案，主要包括合理调整施工顺序、改进施工工艺。

（1）合理调整施工顺序：即为了减少和控制施工过程中发生风险事故，对施工工序从时间顺序和空间次序上进行合理安排或调整。

（2）改进施工工艺：即从施工方法、工艺参数上改进，减少和控制施工过程中发生的风险事故。

5.2.6 施工安全措施，除应执行现行的有关标准、规范外，还应当根据实际工程特点，采取安全有效、便于施工的安全措施，降低施工安全风险。主要包括安全技术措施、安全替代措施、应急救援措施。

(1) 安全技术措施：包括监测预警、对不安全场所进行安全隔离或加固防护、设立警告标志、人工警戒或专人指挥等。

(2) 安全替代措施：对人工直接操作有较大风险的，可以用机械或其它方式替代人工操作。

(3) 安全救援措施：主要指制定应急预案和做好应急准备。

5.2.7 从管理和人的方面控制安全风险主要包括加强管理、人员素质提高。

(1) 加强管理：重点是抓落实，安全管理人员落实，安全管理制度落实，安全资金投入落实，现场管理措施落实。

(2) 人员素质提高：主要是进行经常性的安全教育和培训，强化安全意识和观念，提高安全操作技能；对特殊工种进行专门培训，做到持证上岗；对关键风险控制点安排人员巡逻检查；施工人员身体健康状况符合工种要求；施工前做好安全技术交底。

5.2.8 路堑高边坡风险控制措施建议，可参见附录C。

6 风险评估报告

6.1 一般要求

6.1.1 风险评估报告是施工安全风险评估过程的记录，应反映风险评估过程的全部工作，将风险评估过程中的记录表格、采用的评估方法、获得的评估结果、推荐的控制措施等写入评估报告中。

6.1.2 风险评估报告应内容全面，文字简洁，数据完整，客观公正，提出的风险控制措施具有可操作性。

6.1.3 总体风险评估和专项风险评估的最终报告，应作为工程项目竣工文件进行档案管理。

6.2 风险评估报告编制内容

6.2.1 总体风险评估报告应包含以下内容：

(1) 编制依据

- 1) 项目风险管理方针及策略；
- 2) 相关的国家和行业标准、规范；
- 3) 项目立项批复文件；
- 4) 项目可行性研究报告、工程地质勘察报告、初步设计文件、施工图设计文件等；

5) 现场调查资料。

(2) 工程概况

1) 全线路堑边坡分布和规模；

2) 全线地质条件及周边环境；

3) 全线路堑边坡采取的主要工程措施。

(3) 评估过程和评估方法

(4) 评估内容

(5) 对策措施及建议

(6) 评估结论

1) 风险等级；

2) 专项风险评估对象；

3) 风险控制措施建议；

4) 评估结果自我评价及遗留问题说明。

(7) 附件（评估计算过程、评估人员信息、评估单位资质信息等）

6.2.2 专项风险评估报告应包含以下内容：

(1) 编制依据

1) 项目风险管理方针及策略；

2) 相关的国家和行业标准、规范；

3) 项目可行性研究报告、工程地质勘察报告、初步设计文件、施工图设计文件以及审查意见；

4) 总体风险评估成果及工程前期的风险评估成果；

5) 现场调查资料；

6) 第三方检测监测资料。

(2) 工程概况

包括：具体路堑边坡的位置、规模、工程措施、地质条件、诱发因素、周边环境等。

(3) 评估过程和评估方法

(4) 评估内容，包括风险源普查、辨识、分析以及重大风险源的估测。

(5) 对策措施及建议

(6) 评估结论

1) 重大风险源风险等级汇总；

2) III级和IV级风险存在情况；

3) 风险预控措施建议；

4) 评估结果自我评价及遗留问题说明。

(7) 附件（评估计算过程、评估人员信息、评估单位资质信息等）。

6.2.3 风险评估报告格式应包括：

(1) 封面（包括评估项目名称、报告完成日期、评估组长签名）

(2) 著录项（评估人员名单，并应亲笔签名）

(3) 目录

(4) 编制说明

(5) 正文

(6) 附件

6.2.4 施工过程中专项风险评估应形成评估报表，包含以下内容：

(1) 孕险环境或致险因子变化情况

(2) 重新评估风险等级及计算过程

(3) 拟推荐的风险控制措施等内容

评估报表格式由评估小组自定。

6.3 风险评估报告评审

6.3.1 总体风险评估报告或专项风险评估报告编制完成后，应

组织专家评审。

6.3.2 总体风险评估报告由建设单位（或工程总承包单位、代建单位）组织专家审查，专项风险评估报告由施工单位组织专家审查。评审专家组不得少于5人，专家应由建设、设计、勘察、监理、施工等单位具有高边坡勘察、设计、施工管理经验的人员组成。评估小组根据专家评审意见对评估报告进行修改，形成最终报告。

6.3.3 专项风险评估报告评审通过后应向项目建设单位报备。当专项风险评估等级达到IV级（极高风险）时，建设单位应组织专家论证。

6.3.4 施工过程风险评估报告以报表形式反映。当风险等级达到IV级（极高风险）时，应向建设单位报告，并由建设单位组织专家论证。

附录A 路堑高边坡评估单元工序分解表

附录 A-1 路堑高边坡风险评估单元（工程措施）工序分解表

序号	评估单元		施工工序	作业内容
1	边坡开挖	土方开挖	从上向下分级开挖→运土→修坡	机械挖方、机械装运土方、机械修坡、人工修坡
		石方爆破	钻孔→装药→爆破→装运石方→修坡	钻机钻孔、人工装药、爆破作业、机械挖方、机械装运土方、机械修坡、人工修坡
2	地表排水系统		坡顶截水沟→平台排水沟→临时排水	机械挖基、人工挖基、机械提升搬运砌筑材料、人工搬运砌筑材料、人工砌筑
3	抗滑挡墙		基础开挖→基础施工→脚手架→墙身施工→抹面勾缝	机械挖基、人工挖基、机械提升搬运材料、人工搬运材料、搭设脚手架、人工砌筑、拆除脚手架
4	抗滑桩		锁口施工→桩孔开挖（如有爆破：钻孔→装药放炮→通风）→提升出渣→护壁钢筋制安→模板安装→混凝土浇筑→桩身钢筋制安→桩身混凝土浇筑→养护→检测	人工挖方、钢筋加工、模板加工、人工浇筑混凝土、泵送混凝土、钻机钻孔、人工装药、放炮、机械提升、机械通风、供电照明、机械供高压风
5	预应力锚固工程		搭设钻机平台→钻孔→锚索制安→清孔→锚索入孔→注浆→坡面混凝土框架结构→张拉→检测→封锚	钻机钻孔、搭设脚手架、钢绞线和钢筋加工、模板加工、人工浇筑混凝土、泵送混凝土、机械提升、高压注浆、千斤顶张拉、机械供高压风、拆除脚手架
6	预应力锚索抗滑桩		桩施工工序同第4条，锚索施工工序同第5条	人工挖方、钢绞线加工、钢筋加工、模板加工、人工浇筑混凝土、泵送混凝土、钻机钻孔、搭设脚手架、人工装药、放炮、机械提

序号	评估单元	施工工序	作业内容
			升、机械通风、供电照明、机械供高压风、高压注浆、千斤顶张拉、拆除脚手架
7	土钉墙	搭设钻机平台→钻孔→清孔→土钉制安→土钉入孔→注浆→坡面混凝土框架结构→检测	钢筋加工、模板加工、人工浇筑混凝土、泵送混凝土、钻机钻孔、搭设脚手架、机械提升、机械高压风、高压注浆、拆除脚手架
8	注浆微型桩	搭设钻机平台→钻孔→清孔→微型桩钢管制安→安装入孔→注浆→多次注浆→桩顶混凝土框架结构	钢管加工、模板加工、人工浇筑混凝土、泵送混凝土、钻机钻孔、搭设脚手架、机械提升、机械供高压风、高压注浆、拆除脚手架
9	排水隧洞 (以预制构件拼装为例)	预制洞身支护构件→洞口加固施工→洞身土方开挖→石方爆破(钻孔→装药放炮→通风)→支架安装→洞底水沟	钢筋加工、预制构件、人工挖方、钻机钻孔、人工装药、放炮、洞内运输、机械通风、供电照明、机械供高压风
10	坡面植物防护	坡面修整→人工挖沟槽→回填种植土→播种→覆盖→洒水除虫养护	人工修坡、人工挖槽、坡面填土、播种绿化
11	坡面骨架防护	坡面修整→人工挖沟槽→骨架砌筑→回填种植土→播种→覆盖→洒水除虫养护	人工修坡、人工挖槽、人工砌筑、坡面填土、播种绿化
12	坡面防护	坡面修整→搭设脚手架→砌筑→抹面勾缝	人工修坡、机械提升搬运材料、人工搬运材料、搭设脚手架、人工砌筑、拆除脚手架

附录B 评估单元（工程措施）与典型事故类型对照表

附录 B-1 路堑高边坡评估单元与典型事故类型对照表

序号	评估单元 事故类型	边坡失稳	塌方	坡面病害	高处坠落	机械伤害	中毒窒息	触电	脚手架坍塌	高压气体、液体伤害	涌水突泥
1	边坡土方开挖	√		√	√	√					
2	边坡石方爆破	√			√	√	√	√		√	
3	地表排水系统	√		√	√						
4	抗滑挡墙		√	√	√	√	√	√	√		√
5	抗滑桩	√	√		√	√	√	√		√	√
6	预应力框架 (地梁、墩)	√		√	√	√		√		√	
7	预应力锚索 抗滑桩	√	√	√	√	√		√	√	√	√
8	土钉墙	√	√	√	√	√		√	√	√	√
9	注浆微型桩	√				√		√		√	
10	地下排水隧洞		√			√	√	√		√	√
11	排水孔	√			√	√		√			
12	坡面植物防护			√	√						
13	坡面骨架防护			√	√	√					
14	坡面圪工防护			√	√	√					

附录C 路堑高边坡施工安全风险控制措施建议

附录 C-1 边坡开挖施工安全风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
边坡开挖施工	1、边坡失稳	<p>1、经现场踏勘或开挖后，出现原来没有发现的老滑坡或潜在滑坡等新的情况、出现不利于边坡稳定的地质变化，工程措施不能满足现场实际。</p> <p>2、施工工序不正确，边坡开挖后与加固防护工程施工的时间间隔太长、雨季开挖施工之前没有采取有效防排水措施。</p> <p>3、突发崩塌或泥石流等特大地质灾害</p>	<p>1、在施工前进行实地调查，及早发现老滑坡、潜在滑坡等新情况，完善设计方案和工程措施；在施工过程中及时监测、掌握地质信息，避免边坡失稳事故发生。</p> <p>2、在滑坡体上开挖土方应按照从上向下开挖一级加固一级的顺序施工，对滑坡体加固可按照从滑体边缘向滑体中部逐步推进加固、分段跳槽开挖施工，当开挖一级边坡仍不能保证稳定时应分层开挖分层加固。</p> <p>3、土质边坡或岩性不稳定边坡开挖应安排在枯水季节施工，避开雨季。</p> <p>4、有加固工程的土质边坡在开挖后应在1周内完成加固，其它类型边坡开挖后应尽快完成加固工程，不能及时完成加固的应暂停开挖。</p> <p>5、按设计要求建立边坡变形观测。</p> <p>6、完善突发灾害应急处理预案。</p>
	2、坡面病害	<p>1、没有及时施工地表临时排水工程、坡面有施工积水没有排除。</p> <p>2、坡顶截水沟没有提前施工，边坡外水体冲入边坡范围内、雨季强降雨或暴雨时没有采取覆盖等措施。</p>	<p>1、开挖前做好坡顶截水沟、临时排水沟，坡顶和各级平台不得有积水。开挖中遇到地下水出露时，必须先做好排水后开挖。</p> <p>2、边坡以外水体做好隔离、防漏、防塌工程措施。</p> <p>3、避开雨季开挖施工，必要时对坡面进行防雨遮盖。</p>
	3、高处坠落	<p>1、没有护栏、没有安全带安全绳等。</p>	<p>1、高边坡上作业人员应系安全带，施工人员身体不适、喝酒后不得上高边坡作业。大风、大雨、浓雾和雷电时应暂停</p>

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
		2、违章作业、操作不当、安全自保意识不强、开挖施工机械操作不当，不系安全带。	作业。 2、边坡上施工机械，应与边缘保持足够的安全距离。出现不稳定现象（如裂缝、局部塌方）时，及时撤离。下雨、停工休息时机械撤到安全区域停放妥当。
	4、机械伤害	1、机械设备不配套、带病运转。 2、司机违章作业、操作不当。 3、施工措施不当。	1、人员不在机械作业范围内交叉施工，上方机械挖方施工下方不得有人。挖土机的铲斗不能从运土车驾驶室顶上越过。不得用铲斗载人。 2、施工车辆保证良好车况；合理确定土方装、运顺序和行驶路线；人车不混行；维修加固运土便道；大风、大雨、浓雾、雷电时应暂停施工。
	5、触电	1、缺乏常识，违规操作。 2、用电线路设施不合格。 3、维修管理不善。	1、加强教育，掌握用电应知应会常识，加强自我保护意识，对用电操作人员作好安全交底。电工持证上岗。 2、做好临时用电设计，合理选配电缆、开关等设施，并安装正确，使用中的电缆应架空或按规定埋地，不得随意放在地面或浸水，施工人员、施工道路、设备机械等与架空线距离符合有关规定。现场照明碘钨灯距地面高度不小于3m，接地、接零、避雷设施符合规定。
	6、爆破伤人	1、炸药（雷管）领退不清、无专人管理、持证上岗不严。 2、警戒不严、防止飞石措施不当、不按设计布孔和装药。	1、爆破器材运输保管施工操作等应按有关规定严格执行，爆破作业必须由持证人员专门操作，严禁使用金属器皿盛药，孔内装药用木质棍，不得用石块或易燃物填塞炮孔，超过5m的深孔不得使用导火索起爆，雷雨季节应采用非电起爆法。 2、采取浅孔少药量、松动爆破等飞石少的方法，放炮前设专人警戒，定时爆破，不得用石块覆盖炮孔，爆破后15分钟后才能进入现场，按规定检查和处理盲炮，检查处理危石。

附录 C-2 预应力锚固施工风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
预应力锚固工程	1、边坡失稳	1、对地质条件变化没有及时校核并调整方案，锚索长度不足。 2、没有及时张拉形成有效锚固、注浆效果差，锚固力损失锚固深度不足，整体下滑。 3、没有进行边坡监测或提前中止监测。	1、锚索钻孔注浆后，要立即施工外部框架等结构，及时张拉，对边坡形成有效锚固作用。 2、钻孔后要清孔，锚索入孔后1小时内注浆。采用二次注浆加大锚固力。正式施工前应进行锚固力基本试验，对锚固力较小的地层应加大钻孔孔径和锚固段长度。 3、按设计锚固深度施工，如出现地层软弱变化应及时变更增加锚固长度。 4、按有关规定或设计要求进行边坡变形和锚索拉力监测。
	2、高处坠落	1、没有防护栏或不足、脚手架强度不足。 2、违章作业或安全自保意识不强、操作不当、不系安全带。	1、施工人员系安全带，施工平台外侧设护栏、安全网，平台满铺脚手板并固定。酒后不得上高处作业。 2、脚手架上人员不得赤脚、穿硬底鞋、奔跑、嬉闹。 3、大雨、雾、雪、冰冻天气不宜上脚手架施工。 4、平台上钻机工具、配件、易滑落材料装入桶内，防止坠落。
	3、机械伤害	1、机械设备不配套、带病运转。 2、司机违章作业、操作不当、注浆搅拌机造成伤害、钢筋和锚索制作的切割机伤人。 3、钻机转动部分没有防护罩而伤人。	1、钻机机手与配合人员之间要分工明确，协调配合，防止机械旋转部分挤、夹、绞伤手脚。 2、切割机安放稳固，由专人操作，戴安全帽、防护镜，切割时前方不得站人。外露旋转部分要安装防护罩。 3、锚索张拉时，千斤顶后区域方严禁站人。
	4、垮塌	主要指施工脚手架坍塌和框	1、钻机施工平台脚手架采用钢管和扣件搭设，脚手架立

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
		<p>架梁混凝土工程垮塌</p> <p>1、脚手架或模板支架没有经设计计算或验算有误、强度不足。</p> <p>2、没有按设计搭设、脚手架上堆载或混凝土体量超出设计允许范围。</p>	<p>杆应置于稳定的岩土体上，立杆底端应水平并支垫木板防滑。</p> <p>2、脚手架高度在10~15m时，应设置一组（4~6根）缆风索，每增高10m再增加一组，缆风索的地锚应牢固。</p> <p>对坡面倾角大于45°（即坡率1：1）的较陡边坡，还应采取将脚手架与坡面岩土体或稳定的结构物联接牢固。</p> <p>3、经常检查脚手架完好性，发现扣件松动、钢管损坏、架子整体变形等不安全状况时要立即停止施工，加固完善后再施工。</p> <p>4、混凝土模板用钢管加固，与边坡岩体联接牢固，施工时下方不得站人。</p>
	5、高压气体、液体伤害	<p>1、高压供风注浆设备无专人操作。</p> <p>2、将高压风管、注浆管口对向有人地方、接头不牢固、操作人员没有防护。</p>	<p>1、空压机、注浆泵由有经验的人员专人操作，定时维修保养。</p> <p>2、钻机长距离供风宜用钢管，供风、送浆的软管耐压强度与风压、注浆压力配套，接头牢固。</p> <p>3、风管、送浆管应架空，顺地摆放时应避免车辆碾压和落石砸破。</p>

附录 C-3 抗滑桩施工风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
抗滑桩工程	1、边坡失稳	<p>1、滑动面等关键部位分析判断不准、桩长不满足要求、施工过程中没有及时根据实际滑动面进行校核原设计，滑坡分析计算模式不当致滑坡推力计算有误。</p> <p>2、没有跳桩间隔开挖、大爆破震动引起失稳、施工中没有做好地质编录、没有确认设计判断的滑动面或有变化时没有及时反馈给设计单位。</p> <p>3、在桩外侧开挖卸荷使岩土侧向承载力不足，桩倾倒变形失稳。</p>	<p>1、当设计桩顶平台低于现状地面而挖方又会引起新的滑动时，可采取桩口开挖标高高于设计桩顶标高的“挖空桩”方法。</p> <p>2、采取间隔一桩或多桩的跳槽分批开挖方法，在前一批桩浇灌了混凝土后再开挖下一批桩。</p> <p>3、可采取静力爆破方法或钻芯避免震动。</p> <p>4、抗滑桩开挖施工应有详细地质编录，由专业人员现场跟踪记录，验证设计分析确定的滑动面，如滑动面向深部发展，应由设计复核变更。</p> <p>5、当桩孔地质条件发生变化，桩锚固段岩土承载力低于设计值时，应变更加深桩长。</p> <p>6、按设计要求建立边坡和抗滑桩变形观测。</p>
	2、塌方	<p>1、对地下水、地层岩性软弱等情况考虑不周而护壁支护强度不足。</p> <p>2、没有按设计要求开挖、每次开挖深度过大、护壁支护不符合设计要求、地下水较大没有及时抽排使积水浸泡岩土使其软弱、护壁砼强度没有达到设计要求时拆除模板。</p>	<p>1、可采取对周围土体注浆固结或打锚杆加固再开挖。</p> <p>2、降水、注浆截水，及时抽水，停工时不间断排水不积水。</p> <p>3、减小每次开挖深度，通常不超过0.5m。</p> <p>4、提高护壁混凝土强度，或增加钢筋、设置横向支撑。</p> <p>5、延迟拆除模板时间。</p>
	3、高处坠落	<p>1、孔口没有防护栏或不足、井底施工人员上方没有防护盖、人员上下桩孔没有设置专用的梯子、</p>	<p>1、孔口周边设置高度不小于1.2m的护栏，在靠山侧为边坡时设坚固的防护挡板措施。</p> <p>2、井内施工人员必须戴安全帽，在施工人员头顶</p>

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
		<p>提升设备不检修带病运转造成断绳或脱钩、孔口堆放过多材料。</p> <p>2、人员违章作业扒吊钩或坐吊桶上下、孔口人员不系安全带、安全自保意识不强、操作不当、向孔内抛掷材料、不戴安全帽。</p>	<p>部位设置防护盖，吊桶上下过程中，人员应躲避在护盖下，相邻近两桩孔，一孔进行浇灌混凝土时，另一孔人员应撤出孔外。</p> <p>3、卷扬机、吊桶体积、滑轮、钢丝绳、绳卡等必须进行配套设计，卷扬机要打地锚固定，选购经检验合格的钢丝绳。钢丝绳与吊桶的联接必须用卸扣，不得用敞开式钩子，以防脱钩。吊桶装渣不能超出桶外，大块石头必须破碎装桶，不得用钢丝绳捆绑提升大石块。</p> <p>4、孔口操作人员必须系安全带。</p> <p>5、孔内人员上下时，应设常备的梯子，不得爬绳、钩或坐出渣土的吊桶上下。</p>
	4、中毒窒息	<p>1、没有安装通风设备、对有煤层瓦斯的地方没有采用瓦斯检测器、其它有毒有害气体没有检测制度。</p> <p>2、违章作业没有通风即下桩孔作业。</p>	<p>1、人员下桩孔前确认是否有有害气体存在，确认无误后再下孔施工。</p> <p>2、桩孔深度超过10m时应采用机械通风，保证每人每分钟新鲜空气为2~3m³。规定每班下井前先向孔内通风10~20min。</p> <p>3、在煤系地层挖桩孔，应按煤矿安全规程要求检查瓦斯。</p>
抗滑桩工程	5、触电	<p>1、缺乏常识，违规操作。</p> <p>2、用电线路设施不合格、电缆漏电触电。</p> <p>3、维修管理不善、抽水泵等设备漏电。</p>	<p>1、桩孔内照明用36V安全电压，电缆保护完好。</p> <p>2、潜水泵等用电设备不得有漏电现象，必须在地面调试好再使用。</p> <p>3、孔口地面用电安全按有关规定执行。</p>
	6、涌泥	1、对地下暗河、溶洞、采空区地	1、在有采空区、溶洞地区挖桩，提前做好地下水

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
	突水	<p>下水掌握不准、施工过程中没有监测探测。</p> <p>2、对软泥层或流砂层施工段安全防护不足、止水或截水施工效果不好。</p>	<p>探测和预报，每班开挖前打超前孔探查地下水情况。</p> <p>2、软弱泥砂层采用注浆止水、注浆、降水、钢护筒等。</p>

附录 C-4 抗滑挡墙施工风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
抗滑挡墙工程	1、塌方	1、施工过程中地质条件发生变化没有及时变更设计。 2、未按设计放坡或加固防护、地质条件变化没有及时反馈设计单位、地下水没有抽排浸泡岩土强度降低。	1、基础开挖前调查复核地质条件，开挖后要验证地基承载力，如岩性软弱应变更设计。 2、分层开挖，及时按设计进行防护加固。 3、及时抽排积水，必要时在孔口上方搭棚防雨。 4、基础开挖避开雨季或大雨时施工。 5、必要时，应建立抗滑挡墙变形观测。
	2、高处坠落	1、没有防护栏或不足、坑内积水没有及时排除、脚手架强度不足。 2、违章作业或安全自保意识不强、操作不当、不系安全带。	1、基坑周边设置防护栏杆，临边施工人员应系安全带、安全绳等防护用品，加强看管，非施工人员不得接近坑边。 2、及时抽排积水，必要时在基坑顶部搭棚防雨。 3、高处施工应系安全带、安全绳等防护用品，施工平台上铺好脚手板并固定，搭设上料斜坡道要稳固，平台上不堆放过多的材料和易滑落的工具等杂物。工具材料要用机械运送或人工传递，不得空中抛掷。
	3、垮塌	主要指施工脚手架垮塌原因： 1、脚手架没有经设计计算或验算有误、强度不足。 2、没有按设计搭设、脚手架上堆载超出设计允许范围。	1、脚手架应采用钢管扣件搭设，根据总高度、施工材料、人员、风速等荷载进行计算后确定搭设方案。 2、脚手架应与墙体刚性联接。 3、脚手架各级平台上不能同时堆放超重的材料。

附录 C-5 排水隧洞施工风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
排水隧洞工程	1、塌方	<p>1、支护结构形式不当、支护强度不足。</p> <p>2、地层岩性软弱单循环掘进深度过大顶板塌方、超挖面积大没有及时回填或封闭造成塌方、地下水没有有效排除，岩土泡软导致塌方。</p> <p>3、个人防护不当：不戴安全帽、不穿鞋进洞。</p>	<p>1、根据地层岩性选择合理的支护断面和支护结构，排水洞位于有水的软弱地层中（煤系、泥岩、土层）时，在压力较大时，宜采用拱形或卵形断面，或现浇混凝土和砌筑支护结构，地压力较小的，可在预制构件立柱下加垫块。</p> <p>2、软弱地层开挖做到短掘进、早支护，每次开挖进度控制在0.5m以内，地层较稳定的，一次开挖深度不得超过1.0m，有顶板塌落时及时加强护顶，防止进一步扩大。</p> <p>3、排水洞开挖断面宜为1.5×1.5m~2.5×2.5m。</p> <p>4、采取临时降水或排水措施，减少洞内渗水。</p> <p>5、按有关规定或设计要求进行地质超前预报和变形观测。</p>
	2、中毒窒息	<p>1、无有毒有害气体专门检测仪器和检测人员、通风不良、氧气不足。</p> <p>2、不带个体防护用具、非施工人员误入窒息。</p>	<p>1、施工前排查开挖范围内有毒有害气体，及时处理或变更方案。</p> <p>2、开挖深度超过10m应采用机械通风，保证每人每分钟新鲜空气为2~3m³。规定每班进洞前先通风吹10~20分钟，爆破后在炮烟排尽后再进入。</p> <p>3、在煤系地层挖桩，应按煤矿安全规程要求检查瓦斯。</p> <p>4、设计有检查井的宜先施工，使平洞分段与检查井贯通，可形成自然通风，没有检查井的，可在地面钻孔通风。</p> <p>5、施工洞口在停工期间应设可以通风的栅栏封闭，无关人员禁止入内。</p> <p>6、设计排水洞应设两个以上可供人员通达地面的出口。</p>
	3、涌泥突水	<p>1、施工前没有掌握地下暗河、采空区、溶洞水情况、洞口防止洪水</p>	<p>1、排水洞口设计位置应避免洪水倒灌，或采取措施避开，排水洞应避免设计在水体下方。</p>

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
		倒灌措施不足。 2、开挖没有超前探测地下水情况、施工人员不熟悉涌泥突水事故预兆和预防方法。	2、施工前先做好洞口排水工程。 3、注意观察位于排水洞附近、高于洞底标高以上的水体水位。水位下降后要查明水流去向。 4、在有采空区、溶洞地区施工，提前做好地下水探测和预报，每班开挖前打超前孔探查地下水情况。 5、与检查井、钻孔贯通前抽干井、孔内积水。 6、施工中听到有流水声、洞壁“出汗”（即凝集水珠）立即撤出，查明原因。
	4、触电	1、缺乏常识，违规操作。 2、用电线路设施不合格、电缆漏电触电。 3、维修管理不善、水泵等设备漏电。	1、洞内照明用36V安全电压，电缆保护完好。 2、施工用电设备不得有漏电现象，必须在地面调试好再进洞内使用。 3、洞外用电安全按有关规定执行。

附录 C-6 预应力锚索抗滑桩施工风险控制措施建议

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
预应力锚索抗滑桩工程	1、边坡失稳	<p>1、滑动面等关键部位分析判断不准、设计桩长不满足要求、施工过程中没有及时根据地质条件变化和实际滑动面进行校核原设计、滑坡分析计算模式不当致滑坡推力计算有误。</p> <p>2、锚索没有及时张拉形成有效锚固、锚索锚固深度不足锚固力小于设计、实际滑动面深度大于设计确定的滑动面位置没有及时反馈给设计单位、在桩前岩土侧向承载力不足，桩倾倒变形失稳。</p>	<p>1、抗滑桩开挖施工应有专业人员现场详细地质编录，验证设计分析确定的滑动面，如滑动面向深部发展，应由设计复核变更。当桩孔地质条件发生变化，桩锚固段岩土承载力低于设计值时，应变更加深桩长。</p> <p>2、正式施工前应进行锚固力基本试验，如出现地层软弱变化、锚固力较小的地层应加大钻孔孔径和锚固段长度。</p> <p>3、锚索按设计锚固深度施工，钻孔后要清孔，锚索入孔后1小时内注浆。采用二次注浆加大锚固力。锚索钻孔注浆后，要立即施工外部框架等结构并及时张拉，对边坡形成有效锚固作用。</p> <p>4、当设计桩顶平台低于现状地面而挖方又会引起新的滑动时，可采取桩口开挖标高高于设计桩顶标高的“挖空桩”方法。采取间隔一桩或多桩的跳槽分批开挖方法，在前一批桩浇筑了混凝土后再开挖下一批桩。</p> <p>5、可采取静力爆破方法避免震动。</p> <p>6、按有关规定或设计要求进行边坡变形、锚索拉力、抗滑桩变形监测。</p>
	2、高处坠落	<p>1、没有防护栏或不足、脚手架强度不足。</p> <p>2、违章作业或安全自保意识不强、操作不当、不戴安全带。</p>	<p>1、施工人员系安全带，施工平台外侧设护栏、安全网，平台满铺脚手板并固定。酒后不得上高处作业。</p> <p>2、脚手架上人员不得赤脚、穿硬底鞋、奔跑、嬉闹。</p> <p>3、大风、大雨、雾、雪、冰冻天气不宜上脚手架施工。</p> <p>4、平台上钻机工具、配件、易滑落材料装入桶内，防止坠落。</p>
	3、机械	1、机械设备不配套、带病运	1、钻机机手与配合人员之间要分工明确，协调配合，防

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
	伤害	<p>转。</p> <p>2、司机违章作业、操作不当、注浆搅拌机引起人员伤害、钢筋和锚索制作的切割机伤人。</p> <p>3、钻机转动部分没有防护罩而伤人。</p>	<p>止机械旋转部分挤、夹、绞伤手脚。</p> <p>2、切割机安放稳固，由专人操作，戴安全帽、防护镜，切割时前方不得站人。外露旋转部分要安装防护罩。</p> <p>3、锚索张拉时，千斤顶后区域方严禁站人。</p>
	4、触电	<p>1、缺乏常识，违规操作。</p> <p>2、用电线路设施不合格、电缆漏电触电。</p> <p>3、维修管理不善、抽水泵等设备漏电。</p>	<p>1、桩孔内照明用36V安全电压，电缆保护完好。</p> <p>2、潜水泵等用电设备不得有漏电现象，必须在地面调试好再使用。</p> <p>3、孔口地面用电安全按有关规定执行。</p>
	5、垮塌	<p>主要指施工脚手架坍塌和框架梁混凝土工程垮塌原因：</p> <p>1、脚手架或模板支架没有经设计计算或验算有误、强度不足。</p> <p>2、没有按设计搭设、脚手架上堆载或混凝土体量超出设计允许范围。</p>	<p>1、钻机施工平台脚手架采用钢管和扣件搭设，脚手架立杆应置于稳定的岩土体上，立杆底端应水平并支垫木板防滑。</p> <p>2、脚手架高度在10~15m时，应设置一组（4~6根）缆风索，每增高10m再增加一组，缆风索的地锚应牢固。对坡面倾角大于45°（即坡率1:1）的较陡边坡，还应采取将脚手架与坡面岩土体或稳定的结构物联接牢固。</p> <p>3、经常检查脚手架完好性，发现扣件松动、钢管损坏、架子整体变形等不安全状况时要立即停止施工，加固完善后再施工。</p> <p>4、混凝土模板用钢管加固，与边坡岩体联接牢固，施工时下方不得站人。</p>
	6、高压气体、液	<p>1、高压供风注浆设备无专人操作。</p>	<p>1、空压机、注浆泵由有经验的人员专人操作，定时维修保养。</p>

风险源	典型事故类型	事故主要原因	风险控制措施建议
	体伤害	2、将高压风管、注浆管口对向有人地方、接头不牢固、操作人员没有防护。	2、钻机长距离供风宜用钢管，供风、送浆的软管耐压强度与风压、注浆压力配套，接头牢固。 3、风管、送浆管应架空，顺地摆放时应避免车辆碾压和落石砸破。
	7、塌方	1、对地下水、地层岩性软弱等情况考虑不周而护壁支护强度不足。 2、没有按设计要求开挖每次开挖深度过大、护壁支护不符合设计要求、地下水较大没有及时抽排使积水浸泡岩土使其软弱、护壁砼强度没有达到设计要求时拆除模板。	1、可采取对周围土体注浆固结或打锚杆加固再开挖。 2、降水、注浆截水，及时抽水，停工时不间断排水不积水。 3、减小每次开挖深度，通常不超过0.5m。 4、提高护壁混凝土强度，或增加钢筋，设置横向支撑。 5、延迟拆除模板时间。
	8、中毒窒息	1、没有安装通风设备、对有煤层瓦斯的地方没有采用瓦斯检测器、其它有毒有害气体没有检测制度。 2、违章作业没有通风即下桩孔。	1、人员下桩孔前可用小动物（如家禽）作试验确认是否有有害气体存在，确认无误后再下桩孔施工。 2、桩孔深度超过10m时应采用机械通风，保证每人每分钟新鲜空气为2~3m ³ 。规定每班下孔前先向孔内通风10~20min。 3、在煤系地层挖桩孔，应按煤矿安全规程要求检查瓦斯。
	9、涌泥突水	1、对地下暗河、溶洞、采空区地下水掌握不准、施工过程中没有监测探测。 2、对软泥层或流砂层施工段安全防护不足、止水或截水施工效果不好。	1、在有采空区、溶洞地区挖桩，提前做好地下水探测和预报，每班开挖前打超前孔探查地下水情况。 2、软弱泥砂层采用注浆止水、注浆、降水、钢护筒等。

附录D 本指南用词说明

执行本指南条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便于在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附件 《指南》 条文说明

本条文说明是对重点条文的编制依据、执行中应注意的事项等予以说明，未包含全部条文。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原文。

1 总则

1.0.2 本《指南》评估对象仅考虑挖方路堑边坡，未涉及填方路堤边坡，主要是路堤边坡施工安全风险相对较小，因此本《指南》仅针对开挖施工的路堑边坡。

1.0.3 总体风险评估是以建设项目全线路堑高边坡工程为评估对象，逐个评估路堑高边坡施工安全风险，确定风险等级并提出控制措施。专项风险评估是在总体风险评估基础上，针对风险等级达到III级（高度风险）及以上，或等级未达到III级（高度风险），但评估中某单一指标影响过大的路堑高边坡为评估单元，以施工作业活动为评估对象，根据其安全风险特点，进行风险辨识、分析、估测；并针对其中的重大风险源量化评估，划分风险等级，提出相应的风险控制措施。

总体风险评估于项目开工前完成，为完善施工组织设计提供依据。专项风险评估分为施工前风险评估和施工过程中风险评估，施工前风险评估在分部分项工程开工前完成，为专项施工方案提供依据。在施工过程中，风险源发生重大变化或出现新

的重大风险时须进行施工过程风险评估。评估的类型、时间、承担单位见附表1-1。

表 A. 1-1 边坡工程施工安全风险评估表

评估类型		时间节点	承担单位
总体风险评估		施工图设计完成后、项目开工前	建设单位或总承包单位组织或委托第三方完成
专项评估	施工前风险评估	施工组织设计完成后、专项施工方案报监理工程师批准前	施工单位成立评估小组或委托第三方完成
	施工过程风险评估	现场揭露地质条件与设计依据的地质条件相差较大、发现重大风险隐患、出现风险事故等情况出现时	

专项风险评估责任单位是施工单位，但考虑到路堑高边坡在专业上具有特殊性和复杂性，当在施工单位自行组织评估小组困难时，可委托第三方（具有风险评估经验的专业评估机构）完成。

1.0.4 在评估工作中，指标体系的建立应作为一个独立的工作步骤。指标体系法的关键，是指标的选择及其重要性排序，其决定了评估结果的准确性和可靠性，评估小组应慎重对待。一经合理确定，不宜随意改动。

3 总体风险评估

3.1 一般要求

3.1.2 路堑高边坡指高于 20m 的土质边坡、高于 30m 的岩质边坡。

对于二元结构（土石混合）高边坡如果破坏模式属于可能沿着基岩顶面或者土体内部滑动的高边坡划归土质边坡；破坏模式为在岩体内部发生滑动的边坡，划归岩质边坡。

上述范围之外的路堑边坡，在地质条件复杂（如不良地质体、特殊岩土地段）、气候条件恶劣、施工场地周边环境复杂，以及其它存在较大施工安全风险的情况下，可参考本《指南》进行施工安全风险评估。

根据指南编制单位在广东、云南等省近500个边坡的工程经验，高于20m的土质边坡和高于30m的岩质边坡，开挖后大约百分之四十处于不稳定或欠稳定状态，虽然采取了预应力锚索、抗滑桩等措施进行加固和支挡，但在施工过程中仍然发生了大量边坡灾害，在运营过程中发生边坡灾害也屡见不鲜。究其原因，主要是地质资料缺乏、不足，甚至错误造成的。因此，要考虑设计依据的地质条件变化和差异所带来的风险影响。

3.1.3 总体评估尽可能收集原有的勘察设计资料，依据现行的

相关规范外，现场调查是重要的工作内容，评估小组应对公路沿线的地形地质条件、环境条件，周边建筑物的影响进行全面调查，针对高边坡设计的具体情况，结合评估人员类似工程经验，提出沿线高边坡施工安全风险的总体情况。

3.1.4 本指南提出两种方法，根据项目的实际情况选择。专家调查评估法的关键是基于专家丰富的实践经验。选择专家时要兼顾高边坡勘察、设计、施工、评估等各方面因素，确保专家组内各成员之间专业特长的互补性。在评估小组人员类似工作经验不足的情况下，可选择指标体系法。

3.2 专家调查评估法

3.2.1 专家调查评估法，是专家针对建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性的分项内容，分别进行风险评定，再综合各专家的评定结果提出专家组的评估结果。

3.2.2 专家成员的评定是专家调查评估法的关键，各分项评定可参考以下内容：

（1）建设规模：主要考虑路堑边坡的高度和坡度，坡度可将设计边坡坡度与当地自然斜坡坡度进行对比判断。

（2）地质条件：可从边坡体的地层岩性分布、岩土体结构特征、地下水条件综合判断开挖边坡后可能出现的失稳可能

性、规模、危害，据此给出评定结果。

(3) 诱发因素：可从施工季节和当地自然地质灾害可能性综合判断。

(4) 施工环境：主要考虑施工场地的周边环境和工程措施类型，周边环境包括地下管线、高压铁塔、城乡建筑物等分布情况；工程措施类型与施工难易程度关系较大，可从工程措施的施工工艺成熟度、隐蔽性、施工临时措施的复杂性、施工过程中可能遇到的特殊情况（如锚索施工中钻孔塌孔、卡钻、漏风）等方面综合判断。

(5) 资料完整性：从地质资料的可靠性、设计文件的完整性综合判断，地质资料的可靠性可从工程地质条件的论述、开挖后路堑边坡病害的预测分析、稳定性评价方法和参数选择的合理性以及地质基础工作的扎实性等综合判断；设计文件的完整性可从是否贯彻“一坡一图一说明”的原则，边坡病害分析及稳定性检算是否合理，设计图件是否包括工程布置平面图、立面图、断面图、结构图，文字说明中是否含有工程措施的施工工艺和应注意事项、施工安全工况要求、施工过程中的风险分析及控制措施等方面综合判断。

3.2.3 本指南对风险等级统一采用了四级划分，专家组每个成员对建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性

5 个分项同样按 4 个风险等级分别给出分项评定分值。引入专家信心指数后，每个专家打分 D_r 不一定是整数，按四舍五入的原则划分等级。

3.2.4 专家组评估结果，是在各专家成员评定等级的基础上取平均值，即将各专家成员评定的 D_r 累加再除以专家总数得出平均的 D_r ，按四舍五入的原则划分路堑高边坡施工安全风险等级。

专家成员类似工作经验，对评估结果的影响极大。考虑到专家所从事的专业各有所长，为防止对不熟悉的内容评定不合理，本指南引入专家信心指数对评定结果进行调整。

3.2.5 专家组的评估结果，是在综合专家成员评定结果的基础上提出的，反映了专家成员的平均水平。

3.3 指标体系法

3.3.1 选取的指标应具全面性和代表性。全面性指选取的指标尽可能涵盖影响施工安全风险的各个方面；代表性指选取的指标具有特殊性和典型性，便于定性描述和定量分级。本《指南》根据建设规模、地质条件、诱发因素、施工环境、资料完整性将指标体系分为五类，这些指标是影响路堑高边坡施工安全风险水平的大类。在大类指标的基础上，进一步提出细化分级指标，主要考虑可量化和细分的指标，便于操作。

3.3.2 权重系数反映了评估指标对风险影响的程度，目前还没有一种方法能准确确定其数值。“按评估指标重要性排序确定权重取值”的方法，即重要性排序法，是对评估指标按重要性排序，视相邻指标权重系数差值相同，具有一定的合理性和科学性。采用重要性排序法，可根据表 A.3-1 选取权重系数进行简化处理。

表 A.3-1 重要性排序法权重系数表

指标 项目 数量	权 重 系 数	指标重要性排序												总 权 重
		第 一	第 二	第 三	第 四	第 五	第 六	第 七	第 八	第 九	第 十	第 十 一	第 十 二	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
一项	γ	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
二项	γ	0.75	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
三项	γ	0.56	0.33	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
四项	γ	0.44	0.31	0.19	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
五项	γ	0.36	0.28	0.20	0.11	0.05	—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
六项	γ	0.31	0.25	0.19	0.14	0.08	0.03	—	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
七项	γ	0.27	0.22	0.18	0.14	0.10	0.06	0.03	—	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
八项	γ	0.23	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08	0.05	0.02	—	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
九项	γ	0.21	0.19	0.16	0.14	0.11	0.09	0.06	0.03	0.01	—	—	—	$\Sigma \gamma=1$
十项	γ	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01	—	—	$\Sigma \gamma=1$
十一项	γ	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.01	—	$\Sigma \gamma=1$
十二项	γ	0.16	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02	0.01	$\Sigma \gamma=1$

权重系数确定也可参考“层次分析法和复杂度法计算权重”的方法，也可以采用基于信心指数的专家调查法。两种方法分别介绍如下：

(1) 层次分析法和复杂度法计算权重的方法

其方法大体可分为四个步骤：

- 1) 建立问题的递阶层次结构；
- 2) 构造两两判断矩阵；
- 3) 由判断矩阵计算被比较评估指标的相对权值；
- 4) 计算各层次因子的组合权重。

对于 x_1, x_2, \dots, x_n 个评估指标，得到判断矩阵如表 A. 3-2 所示。

表 A. 3-2 判断矩阵表

	x_1	x_2	...	x_n
x_1				
x_2				
...				
x_n				

采用美国匹兹堡大学运筹学家 T. L. Saaty 教授提出的 1-9 标度进行评价指标的两两比较，得到判断矩阵，标度的定义如

表 A. 3-3 所示。

表 A. 3-3 标度的定义

标度	定义
1	表示两个因素相比，具有同等重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素更为重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断之中值，表示重要性判断之间的过渡性
倒数	因素 i 与 j 比较得到判断 b_{ij} ，则因素 j 与 i 比较的判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$

利用方根法计算出各判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和特征向量 ω 后，最大特征值用于一致性检验，特征向量为所求的各因素的权重。

检验指标记为 CR，当 $CR < 0.1$ 时就认为判断矩阵具有满意的一致性，具体的检验公式为：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中，CI 为判断矩阵的一般一致性指标，计算方法为：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

n 为判断矩阵的阶数；

RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标，取值根据矩阵的阶

进行确定，具体如表 A.3-4 所示。

表 A.3-4 平均随机一致性指标 RI 取值表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI 值	0	0	0.58	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

复杂度分析法的基本思想是：如果某评估指标愈复杂、变化愈大，则它对总体质量的影响就愈大。故可根据各评估指标的复杂程度，引入复杂度的概念，并由复杂度分布归一化后，求得它的权分布。

复杂度的计算式为：

$$C_j = \frac{2(G_{jm2} - G_{j1} - G_{j2})(G_{j2} - G_{j1})}{(G_{jm2} - G_{jm1})}$$

式中： C_j —评估指标的复杂度；值愈大愈复杂，反之愈简单。

G_{jm2} 、 G_{jm1} —该评估指标地区性的最大、最小值；

G_{j2} 、 G_{j1} —评价边坡某评估指标的大小实测数据。

其计算步骤：

第一步：确定评估指标，并计算各评估指标的 G_{jm2} 、 G_{jm1} 与 G_{j2} 、 G_{j1} 值；

第二步：由第一步表中数据计算各评估指标的复杂度；

第三步：求权值。

权值的计算表达式为：

$$W = \frac{1}{\sum} [C_1, C_2, C_3, C_4]$$

(2) 基于信心指数的专家调查法

其应用由两步组成：首先辨识出某一特定项目可能遇到的所有风险，列出检查表（Checklist），然后利用专家经验对可能的风险因素的重要性进行评价，综合成整个项目风险。

该方法的前提是要在调查中引入“信心指数”这个参数。所谓信心指数就是专家在做出相应判断时的信心程度，也可以理解为该数据的客观可靠程度。这意味着将由专家自己进行数据的可靠性或客观性评价，这就会大大提高数据的可用性，也可以扩大数据采集对象的范围。通过这种方法，可以挖掘出专家调研数据的深层信息。即使数据采集对象并非该领域的专家，只要他对所做出的判断能够有一个正确的评价，那么这个数据就应该视为有效信息。

3.3.3 总体风险评估步骤包括：

第一步：成立评估小组。由评估单位按有关规定和要求成立评估小组；

第二步：收集勘察设计资料和现场调查。评估小组收集齐全各种与项目有关勘察设计等基础资料后对现场进行调查。现

场调查从地形地质条件、环境条件、诱发因素、周边建筑物的影响等因素进行调查。

第三步：确定评估对象。高边坡的评估对象，应参照本《指南》的规定，结合高速公路高边坡的实际情况和本地建设管理经验，确定评估对象；

第四步：建立指标评估体系及重要性排序。评估小组根据评估工点的具体情况，建立指标体系并选取重要性指标，并合理进行重要性排序；

第五步：确定权重系数和计算评估指标分值。根据重要性指标和重要性排序按公式（3-1）确定权重系数和计算评估指标分值；

第六步：评估指标分值汇总和风险等级划分。根据式（3-2）计算F，根据表3-2进行风险等级划分。

第七步：编写总体风险评估报告。按本《指南》格式要求编写总体风险评估报告，对III级及以上等级或某一因素对施工安全影响大的路堑高边坡，提出专项风险评估对象的建议。

3.3.4 此条款是高边坡安全总体风险评估的核心内容，特作以下补充说明：

（1）边坡高度和坡形坡率

1) 边坡高度

许多专家认为边坡高度对边坡的安全风险影响较大，应分不同的高度给出调整系数，对此可根据不同地区的实际情况进行考虑。

2) 坡形坡率

根据评估人员掌握的资料信息和专业特长，自然斜坡的比拟坡按开挖后边坡的破裂角或边坡岩体的综合 ϕ 、极限稳定坡、稳定坡或所在自然斜坡坡度的顺序，排在前边的优先选用。选用开挖后边坡的破裂角或边坡岩体的综合 ϕ 打分取小值；极限稳定坡打分取中值；稳定坡或所在自然斜坡坡度打分取大值。

(2) 资料的完整性

1) 地质资料

《公路工程地质勘察规范》(JTG C20—2011)规定：在详勘阶段，每段深路堑横向勘察断面的数量不得少于 1 条，做代表性勘察，地质条件变化复杂时，应增加勘察断面数量。每条勘察地面上的钻孔或探坑（井）数量不宜少于 2 个。本《指南》将每条勘察地面上的钻孔或探坑（井）数量不宜少于 3 个作为最低要求，是基于高边坡施工安全

风险较大的现实考虑。

2) 设计文件

目前,《公路工程地质勘察规范》(JTJ C20—2011)中对高边坡没有详细规定,根据近年来的工程实践,路堑高边坡设计应满足“一坡一图一说明”要求。设计图件包括 1:500~1:2000 工程布置平面图、1:200~1:1000 工程布置立面图、反映地质资料的 1:200~1:500 的设计典型断面图、间距 20m 的设计断面图、工程措施的结构图及大样图。文字说明中包括边坡的工程地质条件、边坡病害分析、稳定性评价、边坡岩土体力学计算参数、边坡破坏力大小(如滑坡推力)、破裂面位置、工程措施的抗滑力(如抗滑桩的抗滑力)等。根据这些内容和要求,对设计文件的完整性进行分级。

3.3.5 目前,施工安全总体风险分级划分标准,是根据有限的实例提出的,待样本数增多后,可适时调整。

4 专项风险评估

4.1 一般要求

4.1.2 重要指标或单一指标影响过大等的考虑

一般情况下，路堑边坡评估指标分 5 类，包括 11 个评估指标。对特定的边坡，11 个评估指标中总有几个指标对施工安全风险影响较大，不能忽略，称这些指标为重要指标；而另外的指标对施工安全风险无影响或影响小，可忽略不计，称这些指标为非重要指标。在评估工作中，选择重要指标按指南分级范围进行打分，权重系数的分配仅考虑这些重要指标，这些重要指标权重系数之和为 1；对可忽略不计的非重要指标不参与打分和评估，权重系数的分配不考虑这些非重要指标。当单一指标影响过大时，重要性指标可确定为一个，称这个指标为重要敏感性指标，可直接进行专项风险评估。

除单一指标影响过大外，以下边坡可直接进行专项风险评估：

(1) 层状岩体的顺层边坡，组成边坡的岩层为沉积岩或层状变质岩，层面向临空缓倾，特别是存在泥化夹层的顺层边坡；

(2) 煤系地层、高液限土、膨胀土边坡，特别是地表水

和地下水丰富的边坡；

(3) 老滑坡体、错落体、崩塌体、坍塌体段边坡，在老滑坡体、错落体、崩塌体、坍塌体中前部，极易形成边坡灾害；

(4) 顺坡向缓倾结构面边坡，坡体中存在顺坡向缓倾结构面，特别是存在泥化夹层的顺层边坡；

(5) 坡洪积层边坡，组成边坡体的岩土混杂，软硬分布不均，地下水丰富，特别是不同期次的层面向临空缓倾。

4.1.5 专项风险评估是在总体风险评估的基础上，对风险等级达到Ⅲ级（高度风险）及以上，或等级未达到Ⅲ级（高度风险），但评估中某单一指标影响过大的路堑高边坡为评估单元，以施工作业活动为评估对象，根据其安全风险特点，进行风险辨识、分析、估测；并针对其中的重大风险源量化评估，划分风险等级，提出相应的风险控制措施。在施工过程中，风险源发生重大变化或出现新的重大风险时须进行施工过程风险评估。

4.2 风险辨识

4.2.1 专项风险评估是一个动态的过程，不同阶段进行评估的重点不同，风险辨识的依据不同。施工过程中的动态风险评估，主要依据现场调查资料、施工记录及施工过程中的检测监测资料。

4.2.7 路堑高边坡的典型事故类型的划分（见附录 B），充分考虑边坡工程的特点，边坡失稳是指施工过程中由于开挖、地表水作用等因素，引起的边坡滑动、坍塌和崩塌，变形体有一定的深度和规模；塌方是指因为墙基、桩孔等基础开挖，引起的土体垮塌；坡面病害是指由于坡面水的作用，引起边坡表层岩土体的浅层滑塌、落石、滚石、流石流泥、冲沟等。其它典型事故，可参考我国的相关规定。

4.3 风险分析

4.3.1 物的不安全状态引起的风险事故分析可从如下几个方面考虑：

（1）地质条件变化，主要是分析设计文件中所依据的地质资料和现场开挖揭露的实际地质情况的差异。当地质条件变化较大时，原工程措施可能不当、不足，从而产生较大的施工安全风险。

（2）施工方案，主要分析路堑高边坡所有的分项工程，分析其施工方法和工艺是否得当、相互间的施工工序与衔接是否合理。

（3）施工环境方面存在的风险源，主要调查和分析施工场地周边的建筑物、构筑物、埋藏物、管道（油、气、水）、缆线、民防设施、铁路、公路、外电架空线路、地下水体、地

表水体等可能造成安全事故的外部环境。

(4) 施工设备，主要分析路堑高边坡施工所用的爆破、开挖、土石方装运、筑路、锚固钻孔、钢筋制作加工、高压供风、高压注浆等可能造成安全事故的施工机械设备。

(5) 施工材料，主要分析材料过期、失效等质量问题，施工中可能遇到的有毒有害、易燃易爆等物质。

(6) 自然灾害，主要分析生产、生活区域可能受到暴雨、洪水、泥石流、雷电、冰雹、大风、雨雪等突发自然灾害造成的风险。

4.3.2 人的不安全行为引起的风险事故分析

(1) 操作错误。不按设计文件和施工组织要求的顺序施工；偷工减料、偷工减序、设备操作错误、易燃易爆品操作不当、多人配合作业不协调、空中抛掷物件、材料工具存放不当、桩孔内人员扒绳（钩）上下等。

(2) 违反安全规程。高处作业没有个人安全防护用品（安全带、安全帽、安全网）、设备带病运转不维修、桩（坑）孔口等没有安全防护、设备外露旋转部分不加防护罩、边坡安全监测不到位等。

(3) 管理缺陷。主要从制度管理和现场管理两方面分析：

1) 制度管理：从安全管理机构、安全管理人员配备、安全管理责任制、安全培训、安全投入、事故处理、事故应急预案等方面分析。

2) 现场管理：现场安全巡查、安全隐患查处和事故应急处理等方面分析。

4.3.4 风险分析方法

(1) 风险传递路径法

路堑高边坡施工安全管理失误的风险传递路径，如图 A.4-1 所示。

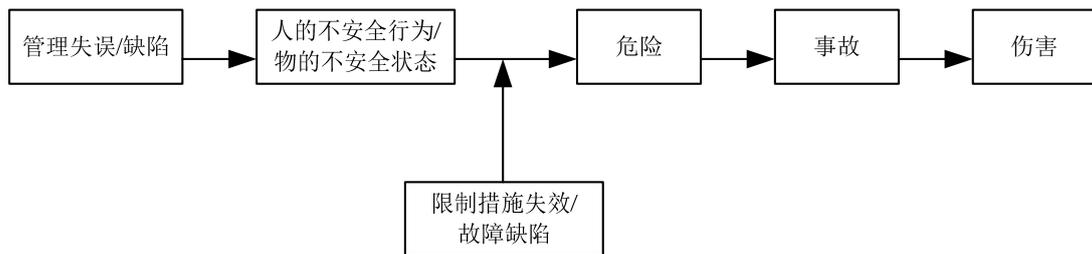


图 A.4-1 路堑高边坡施工安全管理失误风险传递路径

针对路堑高边坡施工的特点，对路堑高边坡施工安全管理失误风险传递路径细化，可知：风险从原因事件向结果事件传递，其表现形式由最初单一的、确定的管理失误（D）分化到若干不同的危险形态（ H_1 、 H_2 、……、 H_n ）并导致事故发生，最终发展到多样的、程度不一的伤害（ I_{111} 、 I_{112} 、……、 I_{nnn} ）。路堑高边坡施工安全风险传递路径细化见图 A.4-2。

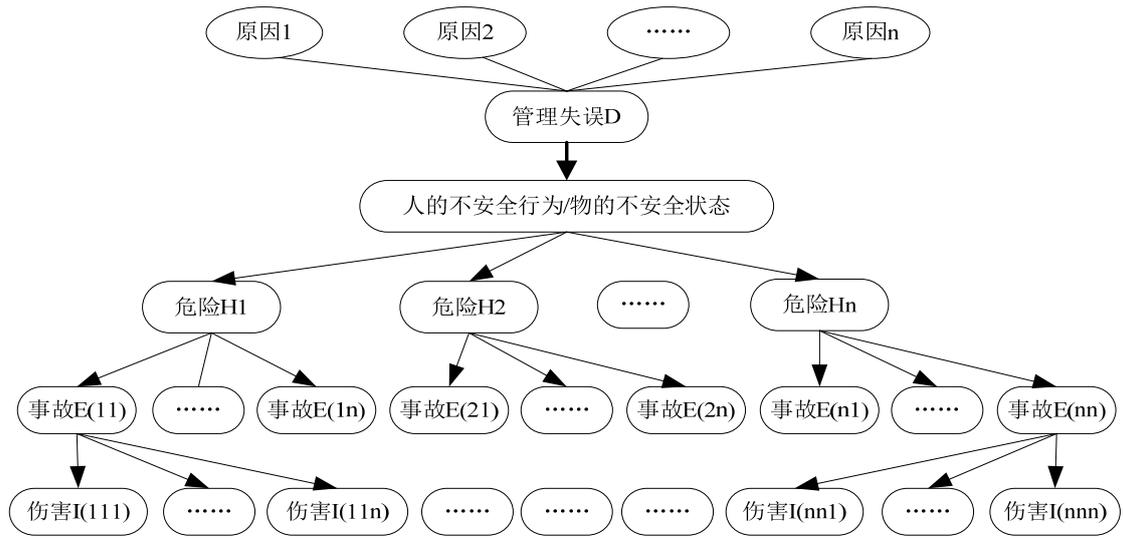


图 A. 4-2 路堑高边坡施工安全风险传递路径细化图

(2) 鱼刺图法

鱼刺图法是把系统中产生事故的原因及造成的结果所构成的因果关系，采用简单的文字和线条加以全面表示的方法。由于分析图的形状像鱼刺，故称“鱼刺图”（见图 A. 4-3）。

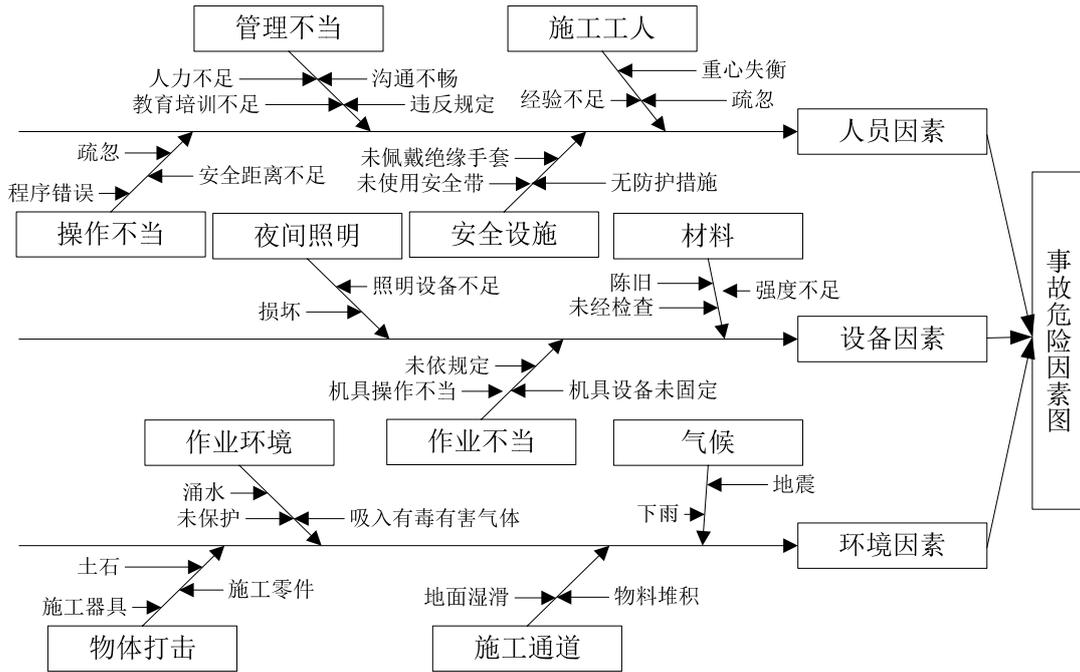


图 A. 4-3 路堑高边坡施工安全风险鱼刺图法

制作鱼刺图分两个步骤：分析问题的原因及结构、绘制鱼刺图。

1) 分析问题原因及结构：

- ①针对问题点，选择层别方法（如人、机、料、法、环等）；
- ②按头脑风暴分别对各层别找出所有可能原因（因素）；
- ③将找出的各因素进行归类、整理，明确其从属关系；
- ④分析选取重要因素；
- ⑤检查各要素的描述方法，确保语言简明、意思明确。

2) 鱼刺图绘制过程：

- ①填写鱼头（要解决的问题）；
- ②画出主骨（影响结果主要概况因素）；
- ③画出大骨，填写大要因；
- ④画出中骨、小骨，填写中小要因。

在绘制鱼刺图时应召集建设、施工、监理、第三方评估单位（如有）等相关人员共同分析，将所要解决问题遵从面-线-点依次细化。

（3）故障树分析法

故障树就是将系统的失效事件（称为顶上事件）分解成许多子事件的串、并联组合。在系统中各个基本事件的失效概率已知时，沿故障树图的逻辑关系逆向求解系统的失效概率。故障树是一种特殊的树状逻辑因果关系图，它用规定的逻辑门和事件符号描述系统中各种事物之间的关系。故障树的编制要求分析人员十分熟悉工程系统情况，包括工作程序、各种参数、作业条件、环境影响因素及过去常发事故情况等。

故障树解决问题的步骤大致如图 A. 4-4 所示：

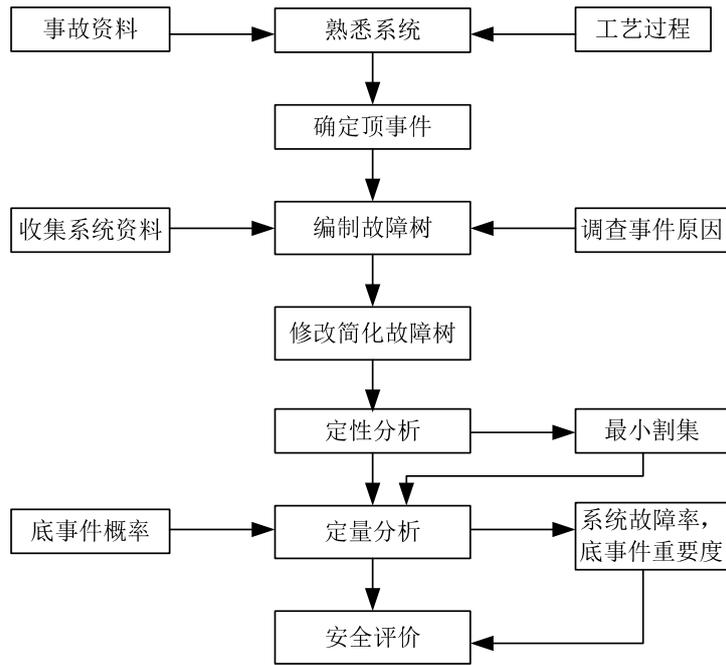


图 A. 4-4 故障树分析流程图

故障树的绘制见图 A. 4-5, 要分析的对象即为顶上事件(施工安全事故), 按逻辑关系可向下罗列顶上事件发生的一级条件及原因(路堑高边坡事故), 一级是条件及原因转换为一级事件, 再先下罗列二级事件及原因 (A_1 、 A_2 …… A_n 及 B_1 、 B_2 …… B_n), 依次类推直至事故的基本事件 (A_{11} 、 A_{12} …… A_{nn} 及 B_{11} 、 B_{12} …… B_{nn})。现阶段主要以定性评估为主。

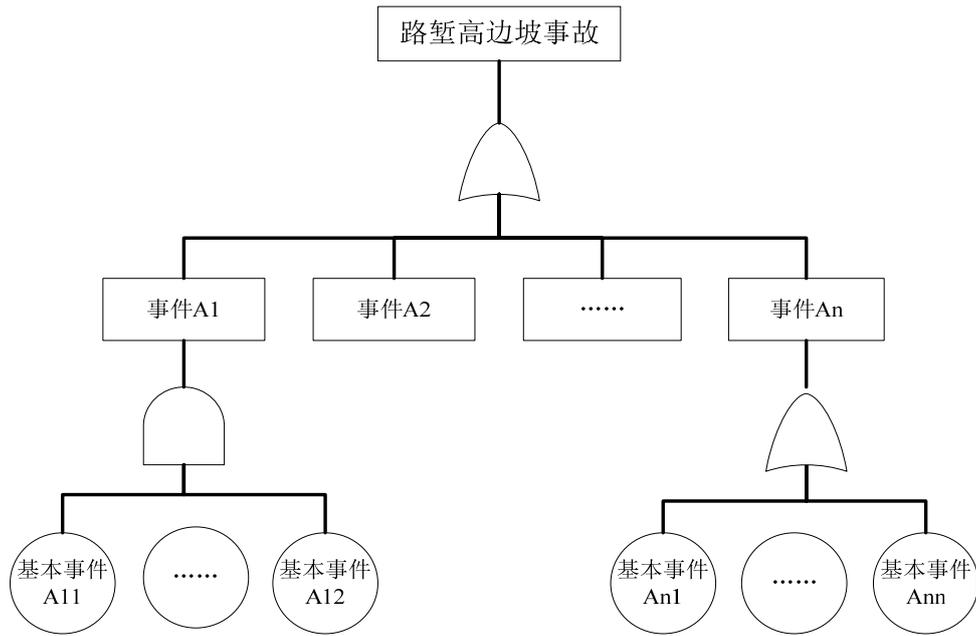


图 A. 4-5 路堑高边坡故障树

(故障树符号意义可参考 GB/T4888-2009)

4.4 风险估测

4.4.2 一般风险源评估方法

LEC 法（作业条件危险性评价法）

LEC 法是根据作业人员在具有潜在危险性环境中作业，以影响作业条件危险性的因素进行评价的方法。

作业条件危险性评价法的评价步骤如下：

- (1) 组成专家组。
- (2) 对于一个具有潜在危险性的作业条件，确定事故类型，找出影响危险性的主要因素：L—事故发生的可能性；E—

人员暴露于危险环境的频繁程度；C—发生事故可能造成的后果。

(3) 由专家组成员按规定标准对 L、E、C 分别评分，取分值集的平均值作为 L、E、C 的计算分值。用计算的危险性分值 (D) 来评价作业条件的危险性等级。其计算公式为：

$$D=L \times E \times C$$

式中：L—事故发生的可能性大小，取值见表 A. 4-1；

E—人员暴露于危险环境的频繁程度，取值见表 A. 4-2；

C—发生事故可能造成的后果，取值见表 A. 4-3；

D—危险性分值，确定危险等级的划分标准见表 A. 4-4。

表 A. 4-1 事故发生的可能性分值 L

分数值	10	6	3	1	0.5	0.2	0.1
事故发生的可能性	完全会被预料到	相当可能	可能,但不经常	完全意外,可能小	可以设想,不太可能	极不可能	实际上不可能

表 A. 4-2 暴露于危险环境的频繁程度分值 E

分数值	10	6	3	2	1	0.5
暴露于危险环境的频繁程度	连续暴露	每天工作时间内暴露	每周一次或偶然暴露	每月暴露一次	每年暴露几次	非常罕见暴露

表 A. 4-3 事故造成的后果分值 C

分数值	100	40	15	7	3	1
事故造成的后果	10人以上死亡	3人以上9人以下死亡	1人死亡	严重伤残	有伤残	轻伤,需救护

表 A. 4-4 危险性等级划分标准

危险性分值D	≥320	≥160~320	≥70~160	≥20~70	<20
危险程度	极度危险, 不能继续作业	高度危险, 需要整改	显著危险, 需要整改	比较危险, 需要注意	稍有危险, 可以接受
危险等级	5	4	3	2	1

一般情况下,事故发生的可能性越大,风险越大;暴露于危险环境的频繁程度越大,风险越大;事故产生的后果越大,风险越大。运用作业条件危险评价分析法进行分析时,危险等级为1~2级的,可确定为属于可接受的风险;危险等级为3~5级的,则确定为属于不可接受的风险。

4.4.4 由于路堑高边坡风险损失的估计目前还没有简便可行且准确可靠的方法,可根据路堑高边坡的周边环境及破坏后可能造成的后果(危及人的生命、造成经济损失)的严重性,本《指南》推荐根据表 A. 4-5、表 A. 4-6 确定事故后果严重程度。

人员伤亡、直接经济损失的严重程度等级也可参考国家有关标准。

(1) 人员伤亡是指在施工活动过程中所发生的人身死亡

或伤害。依据人员伤亡的类别和严重程度进行分级，等级标准如表 A. 4-5。

表 A. 4-5 人员伤亡等级标准

等级	1	2	3	4
定性描述	一般	较大	重大	特大
人员伤亡	1≤人员死亡(含失踪)人数<2 或1≤重伤人数<9	3≤人员死亡(含失踪)人数<9或10≤重伤人数<49	10≤人员死亡(含失踪)人数<29或50≤重伤人数<99	人员死亡(含失踪)人数≥30或重伤人数≥100

(2) 直接经济损失是指因发生事故造成的各种费用的总和，包括直接费用和事故处理所需(不含恢复重建)的各种费用，等级标准如表 A. 4-6。

表 A. 4-6 直接经济损失等级标准

等级	1	2	3	4
定性描述	一般	较大	重大	特大
经济损失(万元)	100≤Z<1000	1000≤Z<5000	5000≤Z<10000	Z≥10000

4.5 重大风险源评估

4.5.3 物的不安全状态引起的事故可能性评估，考虑了边坡开挖、预应力锚固、抗滑桩、抗滑挡墙、地下排水隧洞、注浆加固这6个工程措施，在实际工程当中，对其它工程措施可参考这6个工程措施建立评估指标体系。对一般的坡面防护工程和

排水工程，如排水沟、坡面骨架护坡等，按一般风险源进行预控。

4.5.6 边坡开挖是路堑高边坡工程中最重要风险源，是发生施工安全事故的主要阶段。本《指南》提出了 5 类 10 个评估指标，主要是针对物的不安全状态确定的。其中：边坡规模有边坡高度和坡形坡率 2 个指标，是施工安全风险的最基本的指标，路堑边坡没有高度和坡度就不可能有风险；地质条件的变化有岩性变化、坡体结构变化、地下水变化 3 个指标，主要反映了设计依据的地质资料和现场开挖揭露地质情况的差异，差异大可能引起较大施工安全风险事故；诱发因素除了年降雨量以外，还有自然灾害，边坡施工区域一旦发生暴雨、洪水、泥石流、台风等自然灾害，都有可能诱发边坡灾害事故；周边环境对施工风险的影响也不可忽略，如附近存在爆破作业、动载等。

本《指南》提出了 10 个评估指标，对特定的边坡来说，不一定同时具有 10 个评估指标，可选择其中的某几个指标；在进行评估时应找出对风险事故有影响的重要评估指标，确定重要性排序和相应的权重，建立指标评估体系。高边坡开挖顺序，规范要求开挖一级加固一级，但实际情况是超挖问题比较突出，实际工作中考虑工期等因素未严格按规范执行。因此，

将开挖顺序作为独立的评估指标。

4.5.7 在施工过程中已发现边坡变形破坏迹象，如路堑边坡顶部出现长大贯通的后缘裂缝，标志着施工安全风险事故从有可能趋向于现实，必须采取风险控制措施，比如上部减载、下部反压等。在这种情况下，边坡施工安全风险已处于高风险状态，因此，为提高评估结果的正确性，提出了边坡开挖变形破坏调整系数。

4.5.8 预应力锚固工程在边坡加固中的作用越来越显著，目前已成为我国高速公路边坡加固的重要手段，对施工要求的专业化程度高，导致施工风险的原因是施工方法和工序不当。

4.5.9 人工挖孔抗滑桩施工的安全风险主要有：一是抗滑桩开挖引起坑壁塌方、突泥、涌水；二是桩孔出渣过程中可能产生高处坠落。前一个风险和地层岩性的软弱和地下水丰富有关，要采用严格的施工方法控制；后一个风险与吊装设备质量状况和人的操作规范性有关，主要采用严格的安全措施控制。

4.5.10 抗滑挡墙的主要风险是挡墙基础开挖过深过长引起的塌方，主要采用开挖方式控制风险事故，确保开挖过程中基础坑壁自稳，若不能自稳，要采取临时控制措施。

4.5.11 地下排水隧洞的主要风险是施工过程中的塌方、突泥涌水，主要通过改进开挖方式、遵循“短进尺、勤支护”的原

则控制；必要时采取临时降水和局部注浆措施。

4.5.12 注浆加固的施工安全风险主要有：一是由于注浆速度过快，浆液还没有凝固，引起的大面积的岩土体强度降低，从而引发安全事故，应采用合理注浆方式和调整注浆速度控制；二是注浆压力过大造成对岩土体或工程设备的损坏，应控制注浆压力和改进注浆工艺。

4.5.13 人的不安全行为引起事故的可能性，主要是评估施工队伍的专业化和现场施工的规范化。目前选择专业施工队伍有较大的局限性，存在现场施工状况与施工组织设计的技术要求差距较大，人的不安全行为引起事故的可能性的评估难度极大。本《指南》从 10 个方面建立了安全管理评估指标体系，在此基础上，给出事故可能性分值的调整系数。

5 风险控制

5.1 一般要求

5.1.1 本《指南》风险接受准则，是在常用风险接受准则的基础上，结合公路路堑高边坡特点提出的。

5.1.2 日常管理：施工单位按照国家、行业或地方的有关安全生产的法律法规、标准规范等制定风险控制措施，对工程实行日常管理。

监控预警：施工单位或业主委托第三方监控单位，应对风险源采取监控和预警预报体系，明确预警预报标准，通过对施工监控数据的动态管理，及时掌握其发展状态，发现异常或超过警戒值，应及时采取规避措施。

专项整治：应分析风险原因，并对重大风险源采取专项整治措施，包括完善设计方案、调整施工方法和组织、加强安全措施、改善施工环境、加强现场管理和提高人员因素等方面综合考虑，全方位整改。

应急抢险：除采取以上控制措施外，还应提出典型重大风险事故的应急预案，做好事故应急处置准备工作。应根据风险事故类型和发展态势，对采用专项整治不能及时控制风险的，制定应急措施，做好应急准备，确保事故不造成严重后果。